N° 3 — 1925

ANNALES

DU

SERVICE BOTANIQUE

DE LA DIRECTION GÉNÉRALE

DE L'AGRICULTURE, DU COMMERCE ET DE LA COLONISATION

DE TUNISIE

1925 : 1er fascicule

TUNIS

IMPRIMERIE CENTRALE (Georges GUINLE), 7, rue d'Italie

1925

Pour tout échange avec d'autres publications, s'adresser au Chef du Service botanique à El-Ariana, près Tunis

---

SOMMAIRE

N° 3 — 1925

ANNALES

DU

SERVICE BOTANIQUE

DE LA DIRECTION GÉNÉRALE

DE L'AGRICULTURE, DU COMMERCE ET DE LA COLONISATION

DE TUNISIE

1925 : 1er fascicule



TUNIS

IMPRIMERIE CENTRALE (Georges GUINLE), 7, rue d'Italie

1925

SERVICE BOTANIQUE

DE TUNISIE

ORGANISATION DES TRAVAUX

L'étude de l'amélioration de la production végétale, objet des travaux du Service Botanique, comporte la mise en œuvre de tous les moyens propres à perfectionner les qualités intrinsèques des variétés cultivées et à porter au maximum l'adaptation de ces plantes au milieu.

1° **Génétique** appliquée à l'agriculture, à l'horticulture, à l'arboriculture. — Recherche des caractères et propriétés des plantes, mode de transmission de ces caractères à travers les générations successives, conservation des qualités économiques par la sélection, possibilité de réunir le plus grand nombre possible de ces qualités sur une même variété par le croisement et l'hybridation, recherche des variations brusques ou mutations et étude de leur déterminisme, modes de multiplication et de culture. Ces travaux portent sur les variétés locales et sur celles qui peuvent être acclimatées après introduction de l'étranger.

2° **Milieu animé.** — Relations des plantes cultivées avec les autres organismes. Concurrence vitale, plantes adventices, symbioses intéressant les plantes cultivées, parasites végétaux, microorganismes du sol.

3° **Milieu physico-chimique.** — Conditions physiques et chimiques du milieu naturel : corrélation entre ces conditions et le développement des végétaux, tant au point de vue du développement normal qu'à celui des accidents dus aux intempéries et aux maladies ; moyen de tirer le meilleur parti du milieu naturel pour développer au maximum le rendement des cultures ; action des milieux artificiels plus ou moins différents du milieu naturel, en vue de provoquer la variation des plantes et, le cas échéant, leur amélioration.

*
* *

MODE DE PUBLICATION DES TRAVAUX

Les travaux insérés dans les « Annales du Service Botanique », réunis jusqu'à présent dans une brochure annuelle, seront publiés dorénavant en fascicules séparés se rapportant à un seul sujet.

Cette disposition paraît de nature à réduire les retards dans l'impression des travaux et à faciliter les échanges et le classement.

LE RAYONNEMENT SOLAIRE

Généralités. — Utilité de son étude au point de vue du développement, de l'acclimatement et de la transformation des végétaux.

PAR F. BŒUF

Importance au point de vue de la vie et du climat. — Le soleil rayonne, dans toutes les directions, une quantité considérable d'énergie. Notre planète, en raison de son éloignement et de sa petitesse, en intercepte une infime partie, à la manière d'un écran placé à une certaine distance d'une source lumineuse.

L'énergie solaire qui parvient sur notre globe s'y manifeste par des effets calorifiques, lumineux, chimiques, enregistrables par des instruments de mesure et partiellement perceptibles par nos sens. Elle est la source de toute la vie ; les végétaux verts ont seuls le pouvoir de la capter et de la faire servir à la transformation des minéraux en matière vivante ; les autres végétaux et les animaux utilisent cette matière vivante et les produits de sa décomposition pour leur propre alimentation.

Les principales sources d'énergie utilisées par l'homme (combustibles, chutes d'eau) ont également pour origine le rayonnement solaire dans ses manifestations actuelles ou anciennes.

Le soleil nous apparaît ainsi comme une *génératrice centrale d'énergie dont le débit serait pratiquement constant*, au moins pendant une période embrassant de nombreuses générations humaines.

La distribution de ce rayonnement à la surface de notre globe subit, par contre, des changements incessants. La rotation diurne de la terre autour de son axe explique l'alternance du jour et de la nuit ; sa révolution autour du soleil est la cause de la succession des saisons. Ces *fluctuations régulières*, conséquences du mouvement des astres peuvent recevoir une *expression mathématique*.

Il se surajoute à ces variations, pour chaque point du globe, celles que provoquent les *phénomènes météorologiques* (vents, nébulosité, précipitations, etc.), dont la cause primordiale se trouve bien dans le rayonnement solaire, mais dont les effets s'enchevêtrent capricieusement pour donner l'impression d'une très *grande irrégularité* et qui concourent, avec les facteurs astronomiques, l'altitude et le relief du sol, à déterminer le climat du lieu.

On entend généralement par climat d'un lieu terrestre l'ensemble des phénomènes physiques que l'on peut déceler dans l'atmosphère et le sol de ce lieu par l'observation d'instruments propres à mesurer ces phénomènes : actinomètres, thermomètres, anémomètres, baromètres, hygromètres, pluviomètres, etc. Des données de ces appareils, recueillies pendant une longue période, on cherche à déduire l'allure moyenne des phénomènes étudiés et les traits caractéristiques du climat local.

La climatologie ainsi comprise constitue un recueil de faits empiriques. Pour tirer des documents ainsi obtenus le meilleur parti, il paraît nécessaire, préalablement à leur utilisation, et pour chaque lieu considéré, d'établir les variations théoriques, mathématiques, de la cause première des phénomènes climatiques, c'est-à-dire de la radiation solaire, de calculer, de la même manière, la transmission de la chaleur dans le sol et dans l'atmosphère.

La mesure de la radiation solaire parvenue réellement au lieu considéré, effectuée grâce à des appareils appropriés, celle de la température du sol et de l'atmosphère permettent alors d'évaluer l'amplitude des perturbations apportées par les facteurs météorologiques au climat solaire théorique, lequel ne dépend que de la situation géographique du lieu.

C'est par cette voie que nous avons abordé l'étude du climat de notre station ; elle nous a paru non seulement plus intéressante au point de vue de la météorologie, mais aussi plus profitable au point de vue de la physiologie végétale et de l'agriculture parce qu'elle nécessite la mesure des facteurs physiques essentiels du développement de la végétation : quantités de calories parvenues au sol, échauffement de ce dernier, échauffement de l'atmosphère.

Calcul et mesure du rayonnement. — Notre double but est donc :

1° posséder les éléments permettant d'établir le climat solaire théorique de notre localité ; 2° mesurer le rayonnement solaire qui nous parvient.

La réalisation de ces buts requiert des compétences spéciales ; nous avons eu la bonne fortune de trouver auprès de savants spécialistes la plus entière et la plus obligeante collaboration.

M. Milankovitch, professeur à la Faculté des Sciences de Belgrade, auteur d'un remarquable travail sur la « Théorie mathématique des phénomènes thermiques produits par la radiation solaire » (1) a bien

---

(1) Chez Gauthier Villars, Paris, 1920.

voulu faire l'application, pour notre latitude, des formules et méthodes de calcul qu'il a établies. *Nous sommes actuellement en possession des documents suivants* :

1° quantités diurnes de calories reçues au Service Botanique, chaque jour de l'année, pour une surface normale au soleil, pour une surface horizontale, et pour des coefficients de transmission (états de transparence de l'atmosphère) de 1 — 0,9 — 0,8 — 0,7 — 0,6.

2° quantités de calories reçues par minute, pour les mêmes cas que ci-dessus.

Ces documents permettent d'établir la marche théorique de l'insolation et de connaître le climat solaire de notre station. Ils seront publiés dans un prochain fascicule des Annales avec le commentaire qui s'en dégage.

La mesure du rayonnement solaire s'effectue depuis longtemps dans les laboratoires de « physique du globe » ; les appareils employés n'étaient pas utilisables dans des stations météorologiques ordinaires et l'enregistrement permanent des mesures était plus difficile encore à réaliser.

Le premier appareil dont nous avons pu disposer était un actinomètre à distillation de Bellani, étalonné en calories par le regretté M. Vallot, Directeur de l'Observatoire du Mont-Blanc. Cet appareil, donnant la totalisation des calories entre deux observations consécutives, a été employé du 12 janvier 1922 au 9 avril 1925, date à laquelle il a été accidentellement détruit. Une note fera ultérieurement connaître les résultats obtenus et la comparaison entre les données de cet appareil et celles du pyrhéliographe enregistreur de M. Gorkzynski.

Ce dernier appareil comprend essentiellement une pile thermo-électrique de Mohl, très sensible et à zéro constant et un millivoltmètre enregistreur de Richard.

Son inventeur, M. Gorkzynski, Directeur de l'Institut Météorologique de Varsovie, a bien voulu en faire lui-même l'installation au Service Botanique, lors d'un voyage en Afrique du Nord, en mai 1924. Revenu en avril 1925, il a procédé à l'installation de trois autres pyrhéliographes du même système, dont deux ont été mis à la disposition du Service Botanique par le Service Météorologique de la Direction générale des Travaux Publics de la Régence.

Ce matériel permet les mesures suivantes :

1° rayonnement direct du soleil (voûte céleste exclue) sur une surface normale à la radiation — (pile montée sur un mouvement équatorial).

2° rayonnement direct du soleil, dans les mêmes conditions, après

passage à travers un verre rouge d'Iéna (partie infra-rouge et rouge du spectre).

3° rayonnement direct du soleil, dans les mêmes conditions, après passage à travers un filtre bleu (dissolution de sulfate de cuivre, partie bleue et violette du spectre).

4° rayonnement total, du soleil et de la voûte céleste, sur une surface horizontale (pile immobile, horizontale).

Nous ne saurions trop remercier nos éminents collaborateurs de l'aide précieuse qu'ils nous ont apportée dans l'organisation d'une station pyrhéliométrique. Des mesures du même genre étant maintenant effectuées sur divers points du globe, la station du Service Botanique se trouve faire partie d'un réseau d'observatoires et se fait un devoir de concourir à l'étude générale des phénomènes d'ordre météorologique et physiologique se rapportant au rayonnement solaire.

*
* *

Avant de commencer la publication des résultats concernant la mesure du rayonnement solaire dans l'Afrique du Nord, nous pensons être utile à ceux de nos lecteurs qui ne sont pas familiarisés avec cette question, en rappelant ici quelques notions générales propres à leur faciliter la compréhension de ces travaux. Nous utiliserons surtout, en les vulgarisant, les indications les plus élémentaires contenues dans l'ouvrage de M. Milankovitch cité plus haut, bien certain de nous trouver en communion de pensée avec lui, qui assigne pour but à son ouvrage « de fournir l'outil nécessaire pour des recherches se rapportant au rayonnement solaire, et non point de s'étendre sur ces recherches mêmes ».

Constante solaire. — La première quantité à connaître c'est le débit, supposé invariable, d'énergie rayonnante par le soleil. On l'appelle *constante solaire* et elle se définit ainsi :

« La constante solaire est la quantité d'énergie rayonnante supposée intégralement transformée en chaleur, que le soloil envoie, dans l'unité de temps, à l'unité de surface placée perpendiculairement à la direction du rayon, à une distance égale à l'unité astronomique du soleil » [1] (Milankovitch). On l'exprime en calories-grammes, par minute, pour 1 cm. carré de surface normale à la radiation.

La détermination de la constante solaire est rendue difficile par le

(1) Cette distance est le demi-grand axe de l'orbite terrestre.

fait qu'une partie de l'énergie rayonnée par le soleil est retenue par l'atmosphère terrestre et que cette proportion varie constamment en raison de l'épaisseur d'atmosphère traversée par les rayons et par suite de l'instabilité de la composition de l'atmosphère.

D'après les travaux récents, particulièrement ceux de la Smithsonian Institution de Washington, sous la direction d'Abbot, on admet, comme valeur approchée de la constante solaire, 2 calories-grammes.

Constitution du rayonnement solaire. — L'énergie rayonnée par le soleil est formée, comme celle que fournissent les autres sources d'énergie rayonnante, par la propagation à travers l'espace de vibrations ou ondes électromagnétiques (variations rapides de deux champs perpendiculaires, l'un électrique et l'autre magnétique). Le rayonnement solaire est formé d'un ensemble de radiations de longueurs d'onde différentes, que l'on peut séparer en les faisant passer à travers un prisme. L'étalement séparatif de ces radiations constitue le spectre solaire. Chacun connaît le spectre visible, formé de radiations colorées se succédant dans l'ordre suivant à partir de celle dont la longueur d'onde est la plus courte : violet, indigo, bleu, vert, jaune, orangé, rouge. Au-delà du rouge existent des radiations invisibles mais chaudes formant l'infra-rouge ; au-delà du violet s'étend l'ultra-violet, également invisible, très actif au point de vue chimique, presque dépourvu de chaleur. Le graphique ci-joint représente les caractéristiques principales du spectre solaire. Il comprend des ondes dont la longueur λ varie de $0\mu,292$ [1] limite de l'ultra-violet solaire, à $5\mu,3$ limite de l'infra-rouge ; la partie visible se trouve comprise entre $0\mu,39$ (violet) et $0\mu,8$ (rouge). La courbe représente la distribution de l'énergie calorifique dans le spectre solaire normal.

Rappelons en passant que l'on connaît beaucoup d'autres formes d'énergie rayonnante que celle qui nous vient du soleil et que les longueurs d'onde forment une échelle ininterrompue [2], dont quelques parties incomplètement explorées :

de 30.000 mètres à 314μ	ondes électriques ou hertziennes, télégraphie et téléphonie sans fil, télémécanique (la découverte des plus courtes date de 1925).
de 314μ à $5\mu.3$	ondes calorifiques émises par certaines sources lumineuses : lampe à vapeur de mercure, bec Auer.
de $5\mu.3$ à $0\mu.292$	spectre solaire dans l'air.
de 2920 Å à 144 Å (1)	ultra-violet dans le vide, ultra-violet donné par des électrodes à très haute tension dans le vide.

(1) L'unité μ ou micron est le millième de millimètre.
L'unité Å ou angström est le dix-millième du micron.

(2) Voir *l'Energie rayonnante*, par Forestier, Librairie A. Blanchard, Paris 1923.

de 144 Å à 12 Å	rayons X de Holweck.
de 12 Å à 0,057 Å.......	rayons X de Röntgen.
de 1 Å à 0,0189 Å.......	rayons γ du radium et spectres des rayons β du radium C et du thorium D.

L'étude de l'énergie rayonnante a été l'une des plus fertiles en découvertes, dont quelques-unes sensationnelles (télégraphie et téléphonie sans fil, télémécanique, rayons X, radioactivité). Elle a contribué plus que toute autre à préciser notre conception de la matière et de l'univers.

Le spectre solaire reçu à la surface de la terre n'est pas complet. Les gaz de l'atmosphère en absorbent une partie. L'acide carbonique et la vapeur d'eau retiennent des radiations calorifiques. Les radiations ultra-violettes comprises entre 0μ,292 et 0μ,09 (900 Å) sont absorbées par l'ozone qui se forme dans la haute atmosphère sous l'action des radiations plus courtes que 2.000 Å (Fabry et Buisson 1921) et par le gaz ammoniac qui existe dans l'air à raison de quelques centièmes de milligramme par mètre cube (Duclaux 1923). Les radiations ultra-violettes ainsi captées ont une telle activité chimique qu'elles empêcheraient toute vie à la surface du globe si elles y parvenaient. Celles qui arrivent au sol, un peu plus longues, sont encore très actives et c'est certainement à leur présence qu'est dûe l'action bactéricide de la lumière.

Action de l'atmosphère sur la radiation solaire. Coefficient de transmission. — Indépendamment de cette modification qualitative de la radiation solaire, l'atmosphère fait également varier la quantité d'énergie qui parvient au sol et qui se trouve ainsi ne représenter qu'une certaine proportion de celle qui avait traversé l'espace interplanétaire.

Par suite de la densité croissante de l'atmosphère, la radiation subit une déviation, *une réfraction*, qui l'incurve en la rapprochant du sol, mais sans influer sensiblement sur ses effets thermiques.

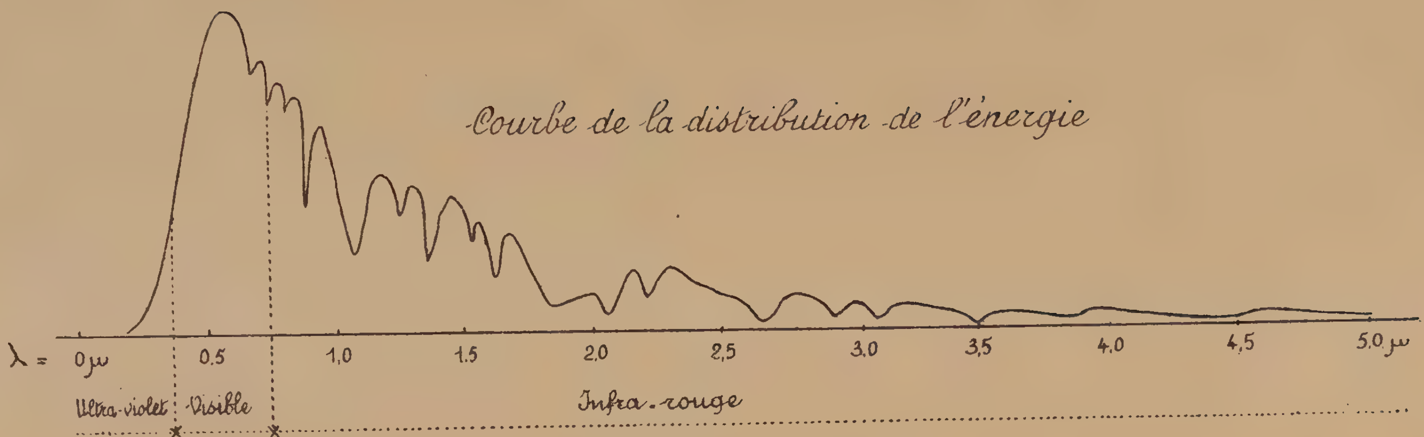
Les molécules des gaz atmosphériques, frappées par la radiation en réfléchissent une partie qui *se disperse* dans toutes les directions ; ces molécules en *absorbent* une autre partie pour s'échauffer, ce qui leur permet de rayonner à leur tour de la chaleur dans toutes les directions. Bien entendu cette radiation solaire diffuse et ce rayonnement thermique atmosphérique subissent, au contact des molécules qu'ils rencontrent, les mêmes modifications que les rayons solaires directs. Une certaine partie de ces deux rayonnements parvient au sol, avec la fraction de la radiation directe qui n'a été ni dispersée, ni absorbée.

Si l'atmosphère contient des nuages, le phénomène se complique encore. Les nuages qui se trouvent sur la trajectoire des rayons solaires

Longueurs d'onde moyennes des zones colorées	λ = 0,39 μ	0.47	0,52	0,58	0,60	0,65
	violet	bleu	vert	jaune	orangé	rouge

Action sur les sels d'argent — action chlorophyllienne

Spectre visible



Spectre solaire

à un point donné du globe interceptent une grande partie de la radiation et l'ombre portée sur le sol témoigne de l'importance de ce rôle d'écran. Ces nuages absorbent une partie de la radiation, s'échauffent et émettent à leur tour un rayonnement thermique invisible ; ils réfléchissent une autre partie de la radiation, soit dans l'espace, soit vers le sol. Certains points de la surface peuvent ainsi, à un moment donné, recevoir le rayonnement direct du soleil et le rayonnement réfléchi par des nuages, soit au total, pendant un temps plus ou moins long, plus de chaleur qu'ils n'en recevraient par ciel clair. Nos mesures montrent des accroissements passagers de plus de 30 % du rayonnement normal, dans lesquels il faut peut-être rechercher la cause des brusques insolations.

Le rayonnement qui parvient au sol se compose donc : de la partie de la *radiation solaire directe* qui a traversé l'atmosphère, de la *radiation solaire réfléchie* par les molécules gazeuses et les nuages, *du rayonnement thermique invisible* émis par les molécules gazeuses et les nuages en raison de leur température propre.

Cette quantité d'énergie n'est qu'une partie de celle qui était arrivée à la limite de l'atmosphère. On donne à la fraction qui l'exprime (0,9 — 0,8 — 0,7 — etc.) le nom de *coefficient de transmission* de l'atmosphère [1].

Si l'on pense qu'une des causes principales de variation de ce coefficient est la quantité de vapeur d'eau contenue dans la masse atmosphérique, on conçoit que la détermination de ce coefficient puisse nous renseigner sur la richesse de l'atmosphère en vapeur d'eau. En comparant les courbes théoriques et les mesures de l'insolation à notre station, nous aurons une valeur approchée du coefficient de transmission ; il deviendra possible d'en suivre les fluctuations journalières saisonnières, accidentelles, et peut-être d'établir des corrélations entre ces variations et les phénomènes météorologiques intéressant l'agriculture.

Action de la surface du globe sur la radiation solaire. — L'énergie rayonnante qui parvient à la surface de la planète est partiellement, réfléchie par cette surface et rebrousse chemin dans l'atmosphère où elle subit les influences passées précédemment en revue. Cette réflexion est surtout importante à la surface de l'eau, de la neige, des sols de couleur claire.

---

(1) Nous l'envisageons ici, en bloc, au point de vue de l'énergie calorifique, bien entendu ce coefficient varie suivant les radiations de différentes longueurs d'onde et devrait être étudié pour chacune d'elles.

Le reste de la radiation est absorbée par la surface terrestre, solide ou liquide, sert à échauffer les matériaux qui l'absorbent et à évaporer l'eau. La chaleur ainsi emmagasinée rayonne à son tour vers l'espace en traversant l'atmosphère ; elle échauffe en outre cette dernière par contact et par convection. Le rayonnement obscur de la terre est en grande partie absorbé par l'acide carbonique et la vapeur d'eau de l'atmosphère celle-ci jouant à l'égard du sol un rôle très analogue à celui du vitrage d'une serre.

Cette transformation de la radiation solaire en chaleur obscure, sa dispersion par évaporation de l'eau, par rayonnment et convection feront l'objet d'une note ultérieure sur les phénomènes thermiques déterminés par la radiation dans le sol et dans l'atmosphère.

Influence de la radiation solaire sur les êtres vivants. Importance pratique de son étude. — L'étude des phénomènes se rapportant au rayonnement solaire intéresse au plus haut degré la physiologie végétale et animale et par conséquent la production agricole, et c'est la raison pour laquelle nous avons jugé utile de l'entreprendre au Service Botanique.

Le rayonnement solaire étant l'un des facteurs essentiels du climat, conditionnant pour une bonne part les phénomènes météorologiques, exerce par là sur les êtres vivants, une action indirecte dont l'importance n'a pas besoin d'être démontrée.

Sa pénétration dans le sol est la cause de l'échauffement de ce dernier, et il est évident qu'une meilleure appréciation des facteurs de cet échauffement est nécessaire pour expliquer beaucoup de phénomènes intéressant la végétation et passablement obscurs actuellement (réveil de la vie végétale, intensité de la croissance, résistance aux intempéries,aux parasites, évaporation de l'eau, condition de développement de la microflore et de la microfaune du sol, opportunité des opérations culturales, etc.).

L'action directe du rayonnement solaire sur les êtres vivants revêt aussi des formes diverses et son étude, encore bien incomplète, est de la plus haute importance théorique et pratique.

La chlorophylle des végétaux verts absorbe surtout les radiations rouges, orangées et jaunes et fait servir une partie de l'énergie correspondante à la synthèse de la matière vivante Le développement des végétaux devrait donc être fonction de la quantité de calories ainsi captées et utilisées.

On peut essayer de se rendre compte, *grosso modo* et autant que la

complexité des phénomènes le permet, du mode d'utilisation de cette énergie.

Elle est consommée par deux sortes de travaux endothermiques : édification de la matière organique aux dépens d'aliments minéraux et évaporation de l'eau des tissus végétaux.

En prenant pour exemple une récolte de blé s'élevant à 10.000 kg. de matière sèche à l'hectare, dont 2.000 kg. pour le grain, 5.000 kg. pour la paille, 3.000 kg. pour les racines, nous pouvons estimer comme suit la dépense de calories :

1° Edification de la matière organique : en admettant 5.000 calories par gramme comme valeur moyenne de la chaleur de combustion de la matière sèche, la formation de la récolte aurait utilisé :

$$5.000 \text{ calories} \times 10.000.000 = 5 \times 10^{10} \text{ calories}$$

2° Evaporation de l'eau : bien que l'évaporation de l'eau par la végétation ne soit pas dans un rapport constant avec la quantité de matière sèche formée, et que les deux phénomènes doivent être regardés comme physiologiquement indépendants, on admet généralement qu'à un gramme de matière sèche élaborée correspond l'évaporation de 300 grammes d'eau (dans les conditions normales de culture). La vaporisation d'un gramme d'eau utilise environ 600 calories. La dépense de ce fait serait donc.

$$600 \text{ calories} \times 10.000.000 \times 300 = 180 \times 10^{10} \text{ calories :}$$

Notons en passant que l'évaporation de cette énorme masse d'eau qui représente une couche de 300 $^m/_m$ de hauteur a consommé 36 fois plus de calories que l'élaboration de la matière vivante.

L'énergie totale employée à la production de la récolte serait donc :

$$185 \times 10^{10} \text{ calories ou } 1,85 \times 10^{12} \text{ calories}$$

Nos mesures du rayonnement solaire nous permettront prochainement de connaître la quantité de calories parvenant au sol et par conséquent à la récolte qu'il porte, en tenant compte approximativement de la surface couverte par les plantes aux différents stades de leur végétation. Nous ne croyons pas nous éloigner beaucoup de la vérité en estimant à 80.000 à 100.000 calories par cm^2 l'énergie qui parvient à l'écran chlorophylien d'une récolte de blé, soit, par hectare :

$$8 \text{ à } 10 \times 10^{12} \text{ calories}$$

La chlorophylle n'absorbe pas tout ; elle ne capte que l'énergie correspondant à son spectre d'absorption, compris entre $0\mu,75$ et $0\mu,5$ environ,

ce qui représenterait 1/5 à 1/6 du rayonnement thermique solaire si le spectre chlorophyllien correspondait à une absorption complète (ce qui est loin de la vérité). Cette proportion de 1/5 à 1/6 appliquée à 8 à 10 $\times$ 10^{12} calories correspond à 1,85 $\times$ 10^{12} calories, la quantité d'énergie dépensée telle qu'elle résulte de l'évaluation ci-dessus.

Ce qui frappe c'est la petite proportion des calories utilisées à l'élaboration de la matière vivante, par comparaison avec l'énorme quantité dépensée pour évaporer l'eau. Dans les contrées à faible insolation, à forte nébulosité, à atmosphère humide, la disproportion entre ces deux quantités doit être moindre, ce qui explique qu'on y obtienne des rendements plus élevés que dans les régions chaudes et sèches malgré la grande insolation dont bénéficient ces dernières.

Pouvons-nous améliorer ce mauvais rendement de nos plantes cultivées au point de vue de l'utilisation de l'énergie solaire ? Si nous réduisons la consommation d'eau en diminuant les organes d'évaporation, obtiendrons-nous une meilleure utilisation des calories pour élaborer de la matière vivante ? La consommation d'eau peut-elle être diminuée par l'enrichissement du milieu en éléments nutritifs ? autant de questions auxquelles nous ne pouvons pas actuellement formuler de réponses.

Nous constatons toutefois des besoins différents suivant les variétés ; certaines, dites précoces ou hâtives, évoluent en moins de temps, semblent exiger moins de calories ou les mieux utiliser.

Il ne sera pas sans intérêt de chercher à exprimer l'utilisation des calories aux diverses périodes de végétation, pour les diverses variétés, de voir s'il est possible de sélectionner ces dernières à ce point de vue.

Indépendamment de ce rôle énergétique, la lumière agit sur la formation même des tissus, ainsi que l'attestent les modifications profondes subies par les végétaux qui se développent à l'ombre ou à l'obscurité ; à côté de la photosynthèse il faut distinguer la photomorphose. Cette dernière, à l'inverse de la première, semble surtout influencée par les rayons bleus, violets, ultra-violets.

Dans la lumière bleue, lorsque la nutrition est assurée, la croissance se produit comme dans une lumière complète un peu affaiblie. Dans une lumière exclusivement jaune-rouge, la plante verdit, mais sa forme est sensiblement la même qu'à l'obscurité ou à une faible lumière. Dans la lumière verte la croissance a lieu à peu près comme à l'obscurité. L'absence des rayons ultra-violets entrave un peu les phénomènes de formation et la production des fleurs.

Les rayons ultra-violets sont arrêtés par le verre ordinaire et man-

quent par conséquent aux cultures sous châssis et en serres. On sait l'insuccès des cultures sous verre dans le Nord de l'Afrique ; il y aurait lieu de rechercher s'il n'est pas dû à une modification défavorable de la lumière solaire.

L'action de la lumière sur les animaux est également mal connue. L'érythème solaire (coup de soleil), l'insolation,les accidents dus à l'action combinée du millepertuis crispé (Hamra) et de la lumière sur les parties non pigmentées de la peau (1), sont des manifestations accidentelles défavorables de cette action. L'héliothérapie en est, par contre, une heureuse application.

La production et le rôle des pigments animaux et végétaux sont probablement en rapport avec l'intensité et la composition de la radiation.

Il est difficile de prévoir, dans un champ aussi vaste et aussi peu étudié encore, les conséquences pratiques à tirer d'une meilleure connaissance du rayonnement solaire parvenant à la surface de notre globe.

Quand on pourra comparer, sous le triple rapport de la quantité, de la qualité et du mode de répartition, le rayonnement reçu sur les différents points de cette surface, le probléme de l'acclimatement des végétaux et des animaux s'en trouvera sans doute facilité ; une différence trés faible dans les proportions respectives des diverses radiations suffirait à expliquer des échecs actuellement énigmatiques.

L'intensité et la composition du rayonnement solaire parvenant au sol ont dû considérablement varier aux cours des temps géologiques. Les vestiges des périodes glaciaires, les restes fossiles de végétaux en témoignent.

Ces changements sont dus à la variation des éléments astronomiques (oscillations du plan de l'écliptique, déplacement des pôles, etc.), à la décroissance de la température du soleil et du flux d'énergie rayonnante qui en résulte, à la variation de l'état de nébulosité de l'atmosphère terrestre, de sa teneur en vapeur d'eau, en acide carbonique et autres gaz absorbants, etc.

Ces changements, accompagnés de conditions différentes de température, de précipitations, de salinité des eaux, de composition du sol, etc., ont dû être les principales causes déterminantes de l'évolution des êtres vivants.

Si les végétaux et animaux nous paraissent stables actuellement,

---

(1) Cette action est à rapprocher de celles du sarrasin, des faines, de l'éosine (phénomènes photodynamiques).

c'est par suite du peu de variation du milieu physique et chimique pendant le temps que dure notre observation.

Il est logique de penser que l'emploi de milieux artificiels, de radiations autres que celles qui nous arrivent du soleil, ou groupées en proportions différentes, (lumières colorées, etc. peut ébranler l'équilibre actuellement établi entre les êtres et le milieu. Divers travaux ont montré que l'utilisation de ces milieux artificiels détermine des variations profondes intéressant des caractères que nous considérions comme stables. Le moyen de provoquer des changements brusques, de déterminer à volonté des mutations serait une des plus belles conquêtes de la génétique.

En résumé, la connaissance du climat solaire théorique d'un lieu, la mesure du rayonnement que reçoit ce lieu nous paraissent être fondamentales pour les études se rapportant à la climatologie, au développement des végétaux, à leur acclimatement, à leur transformation.

*
* *

On trouvera, ci-après, une note sur les mesures du rayonnement solaire en Afrique du Nord, effectuées par M. Gorczynski avant l'installation de pyrhéliographes au Service Botanique. Les observations recueillies à notre Station seront publiées dans les fascicules suivants des « Annales du Service Botanique ».

ŁADISŁAS GORCZYŃSKI

MESURES

DE

l'intensité totale et partielle du rayonnement solaire

effectuées en 1924 en Afrique Française du Nord

et spécialement à l'oasis saharienne de Touggourt

INTRODUCTION

Pendant l'été 1877 J. Violle a déjà effectué, en Algérie, une série de mesures actinométriques, dont un résumé était publié l'année suivante dans le tome LXXXVI des Comptes-Rendus de l'Académie des Sciences à Paris. Bien qu'ainsi les pays ensoleillés de l'Afrique Française du Nord aient été depuis longtemps un champ d'investigations solaires, ils ont tenu jusqu'à ce jour une place assez modeste parmi les différentes autres régions de la terre où, dans des conditions atmosphériques parfois beaucoup plus difficiles, sont effectuées les mesures permanentes de l'intensité du rayonnement solaire.

Pourtant l'Afrique du Nord est une région non seulement privilégiée au point de vue de l'insolation, mais particulièrement intéressante pour les études solaires, par suite de sa situation immédiate près d'un désert immense. Il est non seulement utile et nécessaire d'installer les mesures permanentes de l'intensité du rayonnement solaire en Tunisie, en Algérie et au Maroc, mais aussi d'effectuer des séries temporaires en différents points entre le littoral méditerranéen et le centre de l'Afrique : premières oasis, montagne du Hoggar et régions de transition entre le désert, steppes de l'Afrique Occidentale et plaines chaudes et humides de l'Afrique Equatoriale Française.

Notre récent voyage d'études, effectué en 1923, spécialement pour les mesures de l'intensité du rayonnement solaire dans les régions équatoriales (Siam et Java), dont nous parlons plus loin, nous a montré tout l'intérêt scientifique et toute l'importance d'embrasser aussi les régions désertiques dans le champ de nos investigations. Il a donc fallu chercher une région bien ensoleillée, mais avec les contrastes

rapides, tels que les réalise le voisinage d'un grand désert situé non loin des pays équatoriaux.

Nous présentons ici les résultats de nos premiers travaux, effectués en Afrique du Nord et tout spécialement dans l'oasis saharienne de Touggourt au printemps de 1924.

C'est pour nous un devoir très agréable de souligner ici, avec toute notre reconnaissance, l'accueil bienveillant que nous avons reçu, mes collaborateurs et moi, de la part des autorités locales de l'Afrique Française du Nord.

Tout d'abord la Direction des Territoires du Sud, à Alger, a bien voulu, sur la proposition de l'Université d'Alger (Service Météorologique de la Faculté des Sciences), me donner non seulement les recommandations utiles et efficaces pour le séjour et les déplacements de tout mon personnel dans les territoires des oasis sahariennes, mais a facilité, par tous les moyens à sa disposition, notre mission scientifique à Touggourt.

D'autre part nous avons eu la bonne fortune de trouver en Afrique Française du Nord, et notamment à l'Ariana, près de Tunis, un établissement scientifique important, le Service Botanique de la Direction générale de l'Agriculture, où la première station pyrhéliographique en territoire africain fut installée en mai 1924. Cette station permanente, admirablement située, hors des fumées et impuretés urbaines, fonctionne depuis ce temps, non seulement sans arrêt ni lacunes, mais a pu déjà recueillir, grâce à un contrôle à la fois scientifique et méthodique, des documents de premier ordre concernant la marche et les variations du rayonnement solaire en Afrique du Nord.

Bien qu'il ne soit plus rare de trouver des botanistes et agronomes qui s'efforcent d'appliquer les mesures de l'intensité solaire aux questions intéressant la culture des plantes, le Service Botanique de l'Ariana peut être cité comme exemple d'une station agricole qui veut et sait approfondir les applications du régime solaire, encore si peu connu partout, aux besoins pratiques de la vie.

L'enregistrement permanent des mesures de l'intensité solaire à l'Ariana présente un grand intérêt pour l'actinométrie en général et facilitera l'étude des conditions du rayonnement solaire entre le littoral méditerranéen et le centre de l'Afrique à travers le Sahara. L'importance du poste actinométrique de l'Ariana s'est accru récemment par l'installation des mesures permanentes des intensités partielles du rayonnement solaire au moyen des pyrhéliographes mis à la disposition du Service Botanique par le Service Météorologique de la Direction générale des Travaux publics de Tunisie.

CHAPITRE I

Sur la diminution de l'intensité dans la partie rouge et infrarouge, du rayonnement solaire observée entre l'Europe et l'Equateur

Les mesures actinométriques, effectuées en 1923 pendant le voyage au Siam dont nous avons parlé plus haut, avaient principalement pour objet de rechercher les variations subies entre l'Europe et l'Equateur, d'une part de l'intensité totale du rayonnement solaire, et d'autre part de l'intensité du même rayonnement observé à travers les verres colorés. Les mesures ont été faites aux divers points du parcours, à bord des navires et en différentes stations du Siam, des Indes et des hautes montagnes de Java.

Pendant les six mois, mars-août 1923, on a réuni plus de 35.000 des mesures ; parmi les 100 jours d'observations se trouvent 31 jours pendant lesquels on a observé sans interruption depuis le lever jusqu'au coucher du soleil.

La répartition des mesures de l'intensité du rayonnement solaire pendant la période de mars à août 1923 était la suivante :

Mois (1923)...............		III	IV	V	VI	VII	VIII	TOTAL
		—	—	—	—	—	—	—
Jours d'observations.....		26	14	19	13	13	15	100
Nombres des mesures	totales.....	13.969	3.455	6.396	3.506	2.461	5.718	35.505
	par filtres .	4.035	836	1 815	301	561	1.659	9.207

Cette série principale n'embrasse pas la série supplémentaire (de 7.000 mesures environ) effectuée séparément par le professeur Sawicki, mon compagnon de route et collaborateur.

L'itinéraire de l'expédition actinométrique était le suivant :

a) Voyage d'Anvers au Siam, départ 3 mai 1923, à bord du navire à moteur *Jutlandia* par la Méditerranée, Canal de Suez (18 mai), Mer Rouge, Océan Indien, Colombo (1er avril), Penang, Deli (Sumatra), Singapore, l'île de Koh-Si-Chang (golfe du Siam), Bangkok (18 avril) ;

b) Séjour à Bangkok (Siam) du 18 avril jusqu'au 2 juin 1923 ;

c) Séjour à Batavia et dans les hautes montagnes de Java ; ensuite aux Indes Britaniques et à l'île de Ceylan (juin jusqu'à mi-juillet 1923) ;

d) Voyage de retour Colombo-Marseille, à bord du navire à moteur *Falstria*, du 16 juillet au 12 août 1923.

Pendant les six mois. de mars à août 1923, on a effectué des mesures sur une distance de plus de 36.500 kilomètres, entre les latitudes 50° Nord jusqu'à 7° Sud.

Bien que les résultats de ces mesures seront présentés dans un mémoire spécial, il importe de souligner ici un point capital qui se dégage de l'ensemble des observations, à savoir la diminution progressive de l'intensité de la partie rouge et infrarouge de la radiation solaire qui se produit lorsqu'on va de l'Europe à l'Equateur.

Laissant de côté, ici, les détails concernant les instruments, ajoutons que toutes les mesures ont été effectuées à l'aide des deux actinomètres bimétalliques (du système Michelson), spécialement aménagés pour les navires et munis de verres colorés. Parmi ces verres nous mentionnons le verre rouge d'Iéna (F. 4.512), qui donne, d'après Schott, pour 1^{mm} d'épaisseur, la transmission jusqu'à 94 % pour le rayonnement rouge et pour la grande partie de l'infrarouge, et est presque opaque déjà pour la partie jaune du spectre (5 % pour $0{,}578\mu$). On trouvera plus loin quelques détails concernant cette question dans le chapitre consacré aux filtres solaires.

Notons que le pourcentage de l'intensité du rayonnement rouge par rapport à l'intensité totale s'applique dans le tableau I au verre ayant l'épaisseur de $3{,}95^{mm}$; en éliminant l'absorption du verre on obtiendrait des valeurs plus grandes dans la proportion $1 : (0{,}94)^{3{,}95}$.

Il résulte de notre table qu'il existe bien, entre l'Europe et l'Equateur, une diminution progressive de l'intensité du rayonnement rouge et infrarouge par rapport à l'intensité totale de la radiation solaire. Cette différence dépend en partie de l'augmentation de la hauteur du soleil qui seule provoque la diminution du rouge au fur et à mesure de l'approchement du soleil au zénith.

Mais l'influence prépondérante est sans doute celle de la vapeur d'eau dont la quantité dans l'atmosphère augmente vers la zone équatoriale.

Quant à la variation due à la hauteur ou à la distance zénithale du soleil, elle est assez faible entre la position du soleil au zénith et à 30° de la hauteur du soleil (ou 60° de la distance zénithale), comme on voit dans le petit tableau suivant, tiré des mesures concordantes obtenues au Siam, à Touggourt et en Europe.

Tableau I. — **Diminution vers l'Equateur de l'intensité de la partie *rouge* (avec l'infrarouge) par rapport à l'intensité totale du rayonnement solaire**

(D'après les mesures actinométriques de l'expédition polonaise au Siam en 1923)

DATE 1923	A midi vrai				Entre 11 et 13 heures			Remarques : Position du navire. Stations d'observations.
	Hauteurs du soleil	Masses atmosphériques	Température °C	Humidité en mm	Intensité totale (Max. Q)		°/o du "rouge" et l'infrarouge (minimum diurne)	
A) **Mesures à bord du navire à moteur M/S *Jutlandia*.**								
8 mars.....	47	1.38	16	10	1.37	Diminution vers l'Equateur	52	Atlantique (38 N)
13 —	51	1.28	15	8	1.33		51	Méditerranée (36 N)
18 —	60	1 15	21	10	1.20		49	Canal de Suez (29 N)
20 —	68	1 09	28	24	1.22		48	Mer Rouge (22 N)
23 —	78	1.03	27	20	1.34		46	Golfe d'Aden (12 N)
28 —	81	1.01	31	22	1.36		45	Océan Indien (10 N)
14 avril.....	84	1.01	29	24	1.28		45	Golfe du Siam (Pacifique) 3 N, 101 E
B) **Plaines équatoriales (Siam).**								
18 avril au 1er juin....	86	1.01	33	22	1.18		44	Ville de Bangkok 13°44'N 100°30 E. Gr., 10 m
C) **Campement dans les hautes montagnes de Java.**								
13-17 juin...	60	0.81	13	9	1.6**		»	Montagne de Pangerango 6°45'Sud 106°58'E Gr. Altitude 3023 mètres
D) **A bord du M/S *Falstria*, de la Cie Danoise Est-Asiatique.**								
22 juillet....	74	1.04	29	21	1.21	Augmentation vers l'Europe	45	Océan Indien (4 N)
28 —	82	1.02	31	21	1.11		45	Golfe d'Aden (11 N)
31 —	90	1.00	32	24	1.17		45	Mer Rouge (18 N)
1er août....	76	1.01	32	22	1.16		47	Port Saïd (32 N)
5 —	75	1.04	27	22	1.25		47	Méditerranée (34 N)
9 —	68	1.08	28	16	1.25		48	Méditerranée (38 N)
E) **Plaines d'Europe (France et Pologne).**								
13 août.....	61	1.14	34	15	1.30		50	Montpellier (44 N)
21 —	53	1.23	29	10	1.17		51	Paris Saint-Maur (49 N)
17 septembre	40	1.54	22	10	1.17		54	Varsovie (52 N) Institut Météorologique
3 octobre...	34	1.78	15	8	0.72		60	

Nota. — Les valeurs de l'intensité totale Q (maximum de Q entre 11 et 13 heures), sont données en grammes — calories par cm² et minute d'après les mesures directes sans aucune réduction.

Par suite des nuages on a pu observer, à Pangerango, le matin seulement ; les valeurs sont ramenées approximativement à midi.

Tableau II. — **Variation du « *rouge* » (et de l'infrarouge) avec la hauteur du soleil**

Hauteurs du soleil.........	90°	60°	50°	40°	30°
Masse atm. .... *m* =	1.00 (zénith)	1.15	1.30	1.55	2.00
Augmentation du pourcentage du « *rouge* » (avec l'infrarouge)............	0 %	1 %	2 %	3 %	4 %

Il s'ensuit donc, qu'en réduisant les pourcentages du « *rouge* » (avec l'infrarouge) à une même hauteur du soleil, par exemple 60° (m = 1,15), on aurait obtenu la diminution du pourcentage en question de 5 à 6 unités environ entre Anvers et Bangkok (ou entre Paris et Singapore pendant le voyage de retour), ce qui n'influence pas beaucoup le caractère du changement du rouge et l'infrarouge entre l'Europe et l'Equateur résultant du tableau I.

Ne voulant pas entrer maintenant dans d'autres détails, qui seront encore discutés plus loin, remarquons seulement que la marche diurne du pourcentage du rayonnement « *rouge* » (et infrarouge) se montre souvent sous une forme un peu asymétrique par rapport à midi (minimum le plus souvent avant midi) et qu'elle présente aussi des changements irréguliers d'un jour à l'autre.

Malgré ces complications, le fait est certain et la différence entre le pourcentage « *rouge* » dans les différentes latitudes serait encore plus grande si l'on voulait comparer l'Europe septentrionale avec les conditions de la zone équatoriale.

D'après les résultats du tableau I, combinés avec les données du tableau II, il résulte que l'intensité partielle de la partie infrarouge avec la partie majeure (surtout au point de vue énergétique) du spectre visible, accuse un déficit de 5 à 6 % en prenant même les hauteurs analogues du soleil. Puisque les nouvelles données nous montrent que la proportion des rayons de courte longueur d'onde devient plus grande dans l'atmosphère chargée de plus en plus de la vapeur d'eau, il est très probable que la partie ultraviolette et violette du spectre est beaucoup plus active dans les régions entre les tropiques. D'autre part, on sait que l'énergie de toute la partie ultraviolette du soleil à la surface terrestre représente seulement 1 % environ du rayonnement solaire.

En admettant qu'il soit permis de chercher une certaine compensa-

tion du déficit du rouge et de l'infrarouge dans un surplus de la partie ultraviolette, il s'ensuivrait que ce surplus devrait être alors très considérable, c'est-à-dire que l'action des rayons ultraviolets dans les régions équatoriales serait plusieurs fois plus grande que sous nos latitudes européennes.

Etant donné enfin que l'intensité totale de la radiation solaire est, dans la moitié plus chaude de l'année, plutôt plus grande en Europe, et en général dans les latitudes moyennes, que dans la zone équatoriale (voir tableau I), c'est surtout à la différence dans la répartition de l'énergie du rayonnement dans les diverses parties du spectre solaire qu'il importe d'attribuer les effets si différents du soleil dans les zones tempérée et chaude. Ce déficit du « *rouge* », uni à un surplus de l'ultraviolet, dans la zone tropicale et équatoriale peut seul nous expliquer bien des choses et des particularités se rapportant à l'acclimatation, à la physiologie, à la végétation, etc.

Bien qu'aucune objection ne puisse être soulevée contre la réalité des faits énoncés plus haut, nous n'avons pu nullement considérer l'étude de cette question comme terminée. Bien au contraire, les résultats obtenus pendant l'expédition actinométrique au Siam nous ayant montré l'intérêt scientifique exceptionnel et la grande importance pratique de ces phénomènes, il importe que la question soit étudiée plus en détail dans toutes les régions les plus caractéristiques de la terre. Tout d'abord il a fallu envisager l'exploration sous ce rapport des régions désertiques en prenant pour exemple la ligne : Alger, premières oasis sahariennes et les parties montagneuses du grand désert avec le Hoggar surtout.

En passant des idées aux actes, nous avons entrepris l'organisation d'une nouvelle expédition actinométrique, cette fois en Afrique Française.

La première étape de ces travaux a été réalisée par notre séjour à l'oasis de Touggourt, menée vite à bonne fin grâce au concours prompt et efficace du Gouvernement général de l'Algérie et en particulier du Service Météorologique de la Faculté des Sciences d'Alger.

Nous passons, dans les chapitres suivants, à la discussion des résultats préliminaires obtenus dans les premières oasis sahariennes et notamment à Touggourt.

CHAPITRE II

Remarques générales sur les filtres solaires

Avec les actinomètres et pyrhéliomètres existants, on a mesuré jusqu'ici presque uniquement l'intensité totale du rayonnement solaire. Pour les mesures spectrales, effectuées jusqu'à présent presque exclusivement en Amérique, on a fait usage de la méthode spectrobolométrique.

Le spectrobolomètre de Langley, et à côté de lui les spectrographes thermoélectriques qui peuvent le remplacer pour les besoins de la météorologie, présentent de très grands avantages au point de vue physique en comparaison avec l'emploi de *filtres* solaires. Mais ces derniers sont incomparablement plus faciles à manier et présentent, pour les stations météorologiques possédant les actinomètres, pyrhémètres ou pyrhéliographes, non seulement le moyen unique de mesurer les intensités partielles dans quelques parties du spectre, mais permettent comme nous le verrons, d'obtenir des résultats très intéressants au point de vue météorologique.

C'est K. Angstrom père, de si grand mérite pour le progrès de l'actinométrie, qui a suggéré l'emploi des filtres solaires (1).

Nous donnons plus loin quelques détails concernant cette méthode d'Angstrom.

M. C. Dorno (2), connu par ses nombreux travaux effectués à Davos, en Suisse, a essayé d'employer les filtres de gélatine (de la maison anglaise de Wratten and Wainwright), mais sans succès par suite de leurs transparence (et aussi de leur altérabilité) dans la partie infrarouge du spectre. Suivant Paschen (3) ces filtres laissent passer jusqu'à 60 °/₀ environ pour 2μ.

Pour éliminer la partie infrarouge Dorno a essayé, suivant l'exemple d'Angstrom, d'introduire une cuvette d'eau d'une épaisseur de 1 cm., mais l'usage des filtres de gélatine n'est plus à recommander par suite des variations progressives et irrégulières de la transparence.

---

(1) K. Angstrom. *Méthode nouvelle pour l'étude de la radiation solaire.* Nova Acta Reg. Soc. Scient. Upsal. Sér. IV, Vol. I, N. 7, 1907.

(2) C. Dorno. *Studie über Licht und Luft des Hochgebirges.* (Vieweg, Braunschweig, 1911).

(3) F. Paschen. *Ann. d. Phys.* 43, p. 858, 1914.

Quant à l'influence des couches d'eau il est utile de consulter le tableau suivant, tirée d'après les travaux de W. Schmidt (Sitzungsber. Wien. Akad. d. Wiss. 117, p. 243, 1908) qui a utilisé les données publiées par S. Langley et E. Aschkinass [1].

TABLEAU III. — Répartition spectrale de l'énergie solaire transmise par les couches d'eau des différentes épaisseurs

(en °/₀ de l'énergie qui arrive à la surface d'eau)

LONGUEUR D'ONDES en microns (μ)	EPAISSEURS DES COUCHES D'EAU EN CENTIMÈTRES								
	0	0.001	0.01	0.1	1	10	100	1000	10000
0.2 — 0.6....	23.70	23 7	23.7	23.7	23.7	23.6	22.9	17.2	1.4
0.6 — 0.9....	35.97	36.0	36.0	35.9	35.3	30.5	12.9	1.0	»
0.9 — 1.2....	17.88	17.9	17.8	17.2	12.3	0 8	»	»	»
1.2 — 1.5.. .	8.66	8.6	8.2	6.3	1.7	»	»	»	»
1 5 — 1.8....	8·00	7.8	6.4	2.7	»	»	»	»	»
1.8 — 2.1....	2.50	2.3	1.1	0	»	»	»	»	»
2.1 — 2.4....	2.53	2.5	1.9	0.1	»	»	»	»	»
2.4 — 2.7....	0.72	0.6	0.2	»	»	»	»	»	»
2 7 — 3.0....	0.04	0.0	»	»	»	»	»	»	»
Sommes...	100	99	95	86	73	55	36	18	1.4

Il résulte de ce tableau qu'au fur et à mesure de l'augmentation de la couche d'eau l'étendue du spectre solaire diminue considérablement. Pour une couche de 1 cm d'épaisseur il n'y a plus de longueurs d'ondes dépassant 1,5μ. Une couche d'eau profonde de 1 mètre laisse passer les rayons jusqu'au 0,9μ.

Pour une épaisseur de 100 mètres d'eau il reste du spectre solaire seulement une petite portion de 0,35 jusqu'au 0,6μ, et d'une très faible intensité.

Non seulement l'eau liquide, mais aussi la vapeur d'eau absorbe le rayonnement solaire. Grâce surtout aux travaux de Langley et Angs-

(1) E. ASCHKINASS, Wied. Ann. 55 p. 401, 1895.

trom on sait que l'énergie du rayonnement solaire qui passe par l'atmosphère terrestre diminue rapidement à partir de $\lambda = 2{,}7\mu$: c'est justement l'effet de la vapeur d'eau.

Puisque pratiquement l'intensité du rayonnement solaire, mesurée à la surface terrestre, ne se manifeste que très peu au delà de $2{,}5\mu$, il est intéressant de montrer que l'usage du verre blanc d'optique, par exemple comme plaque de protection dans les piles thermoélectriques ou dans les pyrhéliomètres ou actinomètres en général, n'occasionne pas de perturbations notables au point de vue de l'absorption. Des recherches de laboratoire, entreprises spécialement par M. Fr. Liana, météorologiste de l'Institut central de Varsovie, il résulte les données suivantes :

Tableau IV. — **Pourcentage de la transparence des verres blancs d'optique (de la Verrerie scientifique de Parra-Mantois) dans la partie infrarouge du spectre**

Espèce de verre...	D. 769	D. 814	D. 793	D. 429	D. 262	D. 118	D. 321	D. 382	D. 781	D. 288
Epaisseur en mm..	15.1	15.2	15.1	14.8	15.6	14.9	14.8	15.8	14.5	15.2
Longueurs d'onde en microns										
1.8......	93	92	92	91	90	89	87	86	73	76
1.9......	93	94	89	88	90	89	86	90	74	78
2.0......	90	92	88	87	93	86	90	87	73	74
2.1......	89	90	84	85	89	85	89	80	70	71
2.2......	87	87	79	81	87	86	84	87	68	68
2.3......	81	84	77	78	84	82	80	93	66	65
2.4......	76	77	67	71	82	79	74	79	63	61
2.5......	76	74	62	69	81	79	72	77	61	60
2.6......	70	69	54	63	77	75	70	74	52	58
2.7......	68	67	39	52	75	72	67	72	40	52
2 8......	47	60	15	38	66	65	56	62	18	46
2.9......	24	35	8	6	46	37	36	35	8	24
3.0......	9	18	3	»	23	13	13	15	6	4
3.1......	»	6	1	»	8	2	»	0	3	0
3.2......	»	»	0	»	0	»	»	»	»	»
Densité.........	2.58	2.50	2.53	3.63	3.83	2.77	3.00	2.54	3.19	3.47
Dispersion (C-F) 0.0	0762	0878	0817	1050	1893	1031	1235	0850	1378	1591

Pour trouver un verre incolore transmettant la plus grande fraction possible du rayonnement infrarouge M. Liana (1) a étudié dix-huit lames de flint et de crown que M. Numa Parra, de la Verrerie-Scientifique de Parra Mantois et C[ie], a bien voulu mettre à ma disposition.

Les mesures ont été effectuées avec un dispositif décrit par le Docteur W. J. H. Moll (thèse de doctorat ; Utrecht 1917). Dans ce dispositif un miroir concave projette l'image du filament d'une lampe Nernst sur une première fente, placée au foyer du miroir collimateur, et après réflexion sur ce miroir le faisceau, devenu parallèle, traverse un prisme de sel gemme et se réfléchit sur un miroir plan (dispositif de Wadsworth à déviation constante), puis est concentré par un miroir concave en un spectre qui se forme dans le plan d'une seconde fente. Les radiations traversant la fente sont concentrées par une lentille de fluorine sur une pile thermo-électrique de Moll. Les déviations d'un galvanomètre relié à la pile sont inscrites photographiquement.

La transmission des différents verres a été mesurée par M. Liana en général de 1,8 microns à 3,5 microns. Pour chaque radiation les mesures duraient 30 secondes : pendant les 10 premières, le rayonnement tombait directement sur la pile thermoélectrique, pendant les 10 suivantes il traversait la lame étudiée et pendant les 10 dernières un volet fermait la fente et l'appareil s'installait automatiquement sur une longueur d'onde voisine. Pour corriger les défauts de pureté du faisceau monochromatique M. Liana a utilisé 2 filtres, jusqu'à 2,8 microns un filtre en verre vert de Dubois et au delà un filtre en verre bleu de Schott.

Les résultats sont résumés dans le tableau donné plus haut sans tenir compte de la réflexion. On y voit que tous les verres incolores d'une épaisseur de 15^{mm} sont pratiquement opaques pour le rayonnement de longueur d'onde supérieure à 3,2 microns.

On constate l'existence de différences considérables dans la fraction du rayonnement transmis par les diverses espèces de verre. La composition chimique n'a pas donné jusqu'ici d'indications suffisantes pour les expliquer, M. Liana suppose qu'en outre de cette composition les conditions spéciales de la fabrication jouent un rôle dominant.

M. Liana attire l'attention des physiciens, et tout spécialement des météorologistes qui s'occupent des recherches actinométriques, sur l'utilité de certains verres tels que le flint D. 262 (densité 3,83). Ce dernier verre est plus spécialement à recommander pour la construction

---

(1) Voir la communication de M. Liana dans *les Comptes Rendus de l'Académie des Sciences à Paris* (27 février 1925) dont nous nous servons plus haut en en reproduisant les parties essentielles.

des pièces optiques des spectrographes destinés à l'étude de l'infrarouge solaire. On peut trouver des verres, comme par exemple le verre 6118 qui donne presque la même transmission dans l'infrarouge, mais leur dispersion est beaucoup moins grande que celle du flint D. 262.

Vu la grande utilité d'employer le flint D. 262 pour les recherches spectrographiques et, en général, pour les mesures de l'intensité du rayonnement solaire, nous donnons pour ce verre les indices de réfraction :

Flint très dense D. 262.

$N_{A'} = 1,63555$
$N_{C} = 1,64158$
$N_{D} = 1,64695$
$N_{F} = 1,66051$
$N_{G'} = 1,67212$

$$V = \frac{N_D - 1}{N_F - N_C} = 34.2$$

CHAPITRE III

Sur les filtres solaires employés à Touggourt

Nous avons fait usage à l'oasis de Touggourt de quatre filtres solaires et notamment :

verre rouge d'Iéna,

verre de *marbre* pour l'infrarouge, opaque pour les rayons visibles,

filtre jaune en cuvette au bichromate de potassium,

filtre bleu en cuvette contenant la solution de sulfate de cuivre.

Nous donnons ci-après quelques détails concernant les quatre filtres en question.

Le verre rouge d'Iéna (F. 4512) est fabriqué régulièrement par la Verrerie de Schott, à Iéna : le filtre rouge, utilisé à Touggourt, était de l'épaisseur 3,95^{mm}. D'après un examen détaillé, exécuté avec un grand dispositif spectrographique du système Moll, il transmet plus de 80 °/₀ de l'intensité totale pour les longueurs d'onde 0,8μ et 2,5μ, en accusant une courbe assez régulière dans cet intervalle. La transmissibilité du verre montre une diminution rapide vers la partie jaune du spectre et devient opaque pour la longueur d'onde 0,54μ.

Tableau V. — **Fraction du rayonnement transmis, pour les différentes longueurs d'onde λ, par le verre rouge d'Iéna (F. 4512, épaisseur 3,95^{mm})**

λ	°/₀	λ	°/₀	λ	°/₀
0,54	0	0,72	76	2,5	81
0,56	3	0,76	79	2,8	55
0,58	6	0,80	81	3,0	33
0,62	10	0,9	82	3,5	6
0,64	27	1,0	83	4,0	1
0,66	60	1,35	84	4,4	0
0,69	71	1,8	84		

La transmissibilité du verre rouge varie un peu suivant la nature de la fonte et le temps de la fabrication. Le caractère de l'absorption ne présente pas pourtant des différences notables comme il s'ensuit des

valeurs suivantes (1) trouvées par M. Meissner à l'Institut Physique de l'Université de Zürich.

TABLEAU VI. — **Transmissibilité du verre rouge d'Iéna (F. 4512, épaisseur 2^{mm})**

λ	°/o	λ	°/o	λ	°/o
0,7	70	1,7	88	2,7	79
0,8	77	1,8	88	2,8	74
0,9	85	1,9	89	2,9	62
1,0	86	2,0	89	3,0	49
1,1	88	2,1	89	3,1	38
1,2	87	2,2	89	3,2	27
1,3	87	2,3	88	3,3	22
1,4	88	2,4	86	3,4	17
1,5	88	2,5	86	3,5	13
1,6	88	2,6	85	3,6	10

On voit que la fraction du rayonnement transmise n'est pas la même dans la partie rouge visible ; les différences seraient plus comparables si les valeurs étaient réduites à la même épaisseur.

Pour les épaisseurs très petites (par exemple $0,1^{mm}$) le verre rouge d'Iéna transmet presque toute la partie visible du spectre comme l'on voit pour la table suivante qui figure dans un récent catalogue de Schott.

λ	0.644	.578	.546	.509	.480	.436	.405
°/o	99	71	66	54	48	37	27

On voit pourtant la diminution rapide de la transparence vers la partie violette du spectre.

Le filtre solaire, obtenu avec le verre rouge d'Iéna est excellent pour l'usage permanent avec les actinomètres et les pyrhéliomètres. C'est grâce à lui que nous avons pu démontrer un fait important pendant notre voyage récent au Siam et Java (2), à savoir : la diminution progressive de l'intensité de la partie *rouge* de la radiation solaire, quand on va de l'Europe à l'Équateur.

(1) Voir C. DORNO, K. W. MEISSNER et W. VAHLE, *Meteorologische Zeitschrift*, août 1924, p. 236

(2) Voir ma note dans les *Comptes Rendus*, pp. 754-757, 22 octobre 1923, Paris, sous le titre : *Sur la diminution de l'intensité dans la partie rouge du rayonnement solaire observée entre l'Europe et l'Equateur.*

Cette diminution, dûe surtout à la vapeur d'eau, dépend aussi, dans une certaine mesure, du changement dans la distance zénithale du soleil à midi, lorsqu'on se rapproche de l'Équateur. A côté de cela il peut y avoir quelques autres effets qui influencent la distribution spectrale de l'énergie solaire dans la zone intertropicale surtout en comparaison avec nos latitudes moyennes.

Passons maintenant à notre filtre infrarouge qui présente l'avantage d'être tout à fait opaque pour la partie visible du spectre.

Pour cela nous avons utilisé un verre noir, dit de *marbre*, pour lequel l'examen spectrographique a donné les résultats suivants :

Tableau. VII. — **Fraction du rayonnement transmis pour les différentes longueurs d'onde λ, par le verre de *marbre* (épaisseur 7,3mm)**

λ	°/o	λ	°/o
0,8	6	2,2	81
0,9	13	2,4	64
1,0	24	2,6	30
1,2	46	2,8	9
1,4	71	3,0	6
1,6	79	3,2	4
1,8	84	3,3	3
2,0	85	3,4	2

En prenant les plaques d'une épaisseur plus grande, jusqu'à 1 cm ou même d'avantage, on délimite encore plus la partie infrarouge, mais en même temps on diminue fortement la proportion de l'énergie solaire totale transmise par le filtre en question.

Jusqu'ici nous avons parlé des verres colorés (rouges ou noirs), lesquels peuvent être utilisés avec succès pour la partie rouge et infrarouge du spectre, mais les verres colorés présentent de sérieux inconvénients si l'on veut les utiliser seulement pour la partie visible et surtout violette du spectre. On a essayé ici les verres violets, comme, par exemple, le verre d'uviol d'Iéna, (*Blauuviolglas* F. 3653), qui donne (d'aprés Schott) dans la partie visible et ultraviolette du spectre la marche suivante.

Tableau VIII. — **Transmissibilité en °/₀ du verre d'uviol F. 3653 (épaisseur 1^{mm})**

a) Partie visible :

λ...............	0.644	.578	.546	.509	.480	.436	.405
°/₀...............	0	1	3	3	11	66	92

b) Partie ultraviolette :

λ...............	0.366	.334	.313	.302	.281 μ
°/₀...............	96	93	83	69	19

Mais malheureusement les verres violets transmettent aussi les rayons infrarouges comme il résulte des données suivantes, obtenues à l'Université de Zürich par M. Meissner (l. c.).

Tableau VIIIbis. — **Transmissibilité en °/₀ du verre d'uviol F. 3653 (épaisseur 3^{mm}) dans la partie infrarouge et visible du spectre**

λ...............	0.45	.50	.55	.60	.65	.70	.80	.90	1.0
°/₀...............	35	3	2	0	1	10	91	82	74

λ	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0
°/₀............	40	34	35	37	47	54	59	63	49	12

Comme on le voit, le verre violet F. 3653 ne peut pas être considéré comme un filtre pour la partie violette du spectre. Au lieu de ce verre il serait plus utile d'employer le verre d'Iéna F. 3873 (*Blaufilter* de Schott) pour lequel l'examen spectrographique donne les valeurs suivantes :

Tableau IX. — **Fraction du rayonnement transmis par le verre violet F. 3873 d'Iéna**

a) Epaisseur 1^{mm} (Parties : visible et ultraviolette)

λ............	0.578	.546	.509	.480	.436	.405	.366	.334	.313
°/₀............	1	1	16	47	74	72	43	3	1

b) Epaisseur 5^{mm} (Parties : infrarouge et visible) :

λ	%	λ	%	λ	%	λ	%
0.45	43	0.9	7	1.6	0	2.6	26
0.50	3	1 0	8	1.7	0	2 8	21
0.55	0	1.1	1	1.8	2	3.0	14
0.60	0	1.2	2	1.9	4	3.2	10
0.65	0	1.3	0	2 0	7	3.4	8
0.70	1	1.4	0	2.0	15	3.6	0
0.80	3	1.5	0	2.4	22		

Il est intéressant de noter que le verre violet (F. 3873 de Schott, épaisseur 2,58^{mm}), combiné avec une couche d'eau de 1 cm, est opaque pour l'infrarouge. On s'en rend compte par le tableau suivant tiré d'une publication de H. H. Kimball (1), actinométriste très distingué et bien connu de Washington.

Tableau X. — Fraction du rayonnement transmis par le verre violet F. 3873 (2,58^{mm} d'épaisseur) et par une couche d'eau de 1 cm

(D'après les données de U. S. Bureau of Standards).

λ	%	λ	%	λ	%
0.348	0	0 41	30	0.48	11 »
0.35	1	0.42	31	0 49	6 »
0.36	4	0.43	31	0.50	3 »
0.37	11	0.44	31	0.51	1 »
0.38	19	0.45	30	0 565	0.01
0.39	28	0 46	24	0.706	0.02
0.40	30	0.47	18		

longueurs d'onde	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
verre violet (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	2.6
couche d'eau (%)	82.0	68.0	31.5	5.8	2.0	0.0	0.0

L'effet combiné du verre violet avec une couche d'eau ne laisse rien passer de l'infrarouge jusqu'à 9 μ.

(1) H. H. Kimball, *Monthly Weather Review*, pp. 580, Washington, décembre 1924.

Malgré ces résultats, la meilleure méthode jusqu'ici consiste à utiliser les filtres liquides en cuvettes de 11^{mm} d'épaisseur. Les filtres employés à Touggourt, avaient, suivant Moll, la composition suivante : le filtre jaune au bichromate de potassium 5,16 gr $K_2Cr_2O_7$ et le filtre bleu au sulfate de cuivre 30 gr $Cu\,S\,O_4$ en 100 gr H_2O. Le premier filtre, très transparent entre 0,7 et 1,0μ, est presque opaque déjà pour 1,4μ. Le filtre bleu ne transmet, outre les petites longueurs d'ondes, que très peu des rayons infrarouges dans les environs de 2μ.

L'emploi de ces filtres solaires permet d'étudier non seulement l'intensité totale du rayonnement solaire, mais aussi la marche et les variations des intensités partielles après le passage des rayons dans l'atmosphère terrestre.

L'exemple suivant, tiré de nos mesures dans le Sahara, montre bien le grand intérêt de ce genre d'études.

Tableau XI. — **Oasis de Touggourt, 3 avril 1924**

TEMPS	Int. totale gr. cal. cm², min.	Pourcentage transmis par les filtres		
		bleu	infrar.	rouge
6h 17 min.	0.42	9 %	20 %	67 %
7 12 —	0 88	16	16	53
Midi	1 31	18	14	48
15h 22 min.	1.24	17	15	50
17 18 —	0.78	10	18	60
17 54 —	0.29	2	25	73

On y voit la diminution caractéristique et très prononcée, à partir du lever du soleil jusqu'au milieu du jour, dans la proportion des rayons rouges et infrarouges ; en même temps on trouve l'augmentation correspondante d'intensité, du côté du bleu.

Nous reviendrons plus loin à la discussion plus détaillée de ces résultats intéressants.

CHAPITRE IV

Application des filtres solaires à la déduction de la constante solaire

D'après cette méthode, indiquée par K. Angstrom, on emploie des écrans absorbants spéciaux ; un filtre bleu et une cuvette remplie d'eau, en mesurant non seulement l'intensité totale de la radiation solaire, mais aussi l'intensité partielle qu'on obtient après le passage des rayons solaires par les milieux absorbants en question.

En éliminant la part de la diffusion et de l'absorption des gaz atmosphériques, K. Angstrom a déduit la formule suivante pour la perte de l'énergie rayonnante par suite de la diffusion

$$Q'_m = Q_0 \frac{p^{m\delta}}{nm\delta + 1} \qquad (1)$$

Q'_m désigne l'intensité totale de la radiation solaire, telle quelle serait obtenue sur la surface du globe après la traversée de la couche diffusante de l'atmosphère de l'épaisseur m et de la *densité* δ de la diffusion. Enfin, p et n représentent des constantes, dont les valeurs numériques sont, d'aprés K. Angstrom, les suivantes :

$$p = 0.93 \qquad n = 0.26.$$

Ces valeurs ont été déduites des données expérimentales, obtenues d'aprés les mesures de Langley, Abbot et Fowle, ainsi que des enregistrements spectrobolométriques du spectre solaire effectués à Upsala. L'équation (1) se rapporte seulement à la diffusion ; quant à l'influence de l'absorption W, K. Angstrom propose, comme relation empirique, de déduire l'absorption du facteur dominant, notamment de la vapeur d'eau, de la formule

$$W = Q_0 \, p^{m\delta} \, K \, (f \, m)^h \qquad (2)$$

où les valeurs numériques des coefficients sont les suivantes :

$$P = 0.85 \qquad K = 0.1 \qquad h = 0.275$$

dans les limites de l'intervalle

$$5 < f \; m < 30.$$

La formule en question se rapportant à la fois à la diffusion et à l'absorption, se présente donc sous la forme

$$Q_m = Q_0 \left[\frac{p^{m\delta}}{nm\delta + 1} - K\,(f\,m)^h\, p^{m\delta} \right] \qquad (3)$$

En substituant les valeurs numériques des coefficients, on obtient

$$Q_0 = \frac{Q_m}{\dfrac{0.93^{m\delta}}{0.26\ m\delta + 1} - 0.1\,(f\,m)^{0.275} \times 0.85^{m\delta}} \qquad (4)$$

La formule (4) permet de déduire la valeur Q_0 de la *constante solaire*, si les valeurs de Q_m et δ sont préalablement connues. La valeur de Q_m (de l'intensité totale de la radiation solaire après le passage de la couche atmosphérique de l'épaisseur m) est facile à mesurer d'après la méthode ordinaire pyrhéliométrique ou actinométrique ; quant à la valeur de δ (*densité* de la couche diffusante), elle peut être obtenue à l'aide de mesures supplémentaires avec les filtres solaires.

Il est facile de comprendre que, pour la déduction de δ, le mieux est de réaliser des conditions dans lesquelles, pour les rayons traversants, seule la diffusion peut être prise en considération. Dans ce but il est utile d'employer, comme filtre absorbant, un verre bleu et une cuvette, remplie d'eau. Par cette combinaison toute la radiation qui appartient aux parties infrarouges du spectre est éliminée par l'absorption ; de même, une partie du spectre visible, jusqu'à $\lambda = 0.52\ \mu$, ce qui correspond à $x = 0.22$ dans le spectre à l'intensité constante. Depuis cette dernière limite, le coefficient de transmission de la plaque de verre est représenté, dans le spectre solaire d'insensité constante, par une ligne droite jusqu'à $x = 0.12$ ($\lambda = 0.45\ \mu$), où il a la valeur de 0.45. Cette valeur reste approximativement constante jusqu'au point où l'absorption du verre commence dans la partie ultraviolette du spectre. Par conséquent, la radiation L_m, transmise par l'atmosphère de l'épaisseur m et ensuite par les filtres absorbants, peut être exprimée, selon

$$Q'_m = Q_0 \int_{x_1}^{x_2} (p^{\delta}\, x^{n\delta})^m\, dx = Q_0\, \frac{p^{\delta m}}{nm\delta + 1} \left(X_2^{\,nm\delta + 1} - X_1^{\,nm\delta + 1} \right) \qquad (1^{bis})$$

par la formule

$$L_m = 0.45\ Q_0\, p^{\delta m} \int_{0,04}^{0,12} X^{nm\delta}\, dx + Q_0\, p^{\delta m} \int_{0,12}^{0,22} X^{nm\delta}\,(1 - 4.5\,x)\, dx \qquad (5)$$

De deux mesures consécutives de L_m, prises pour les différentes m peut-on déduire la valeur de δ, tous les autres termes de l'équation étant connus.

Ayant δ, on obtient la valeur de Q_0 d'après Q_m, m et f suivant la formule (4).

A titre d'exemple citons les valeurs correspondantes obtenues à Ursynow, village dans les environs de Varsovie.

	L_2	L_1	L_2/L_1	δ	L_0	Q_2	f/mm	L_0/Q_0	Q_0
28. VII	.022	.0096	2.31	.68	.053	.94	12	.027	1.97
8. VIII.......	.023	.0126	1.83	.48	.043	1.05	14	.022	1.97

Il ne faut pas cependant exagérer l'importance de la méthode d'Angstrom, surtout s'il s'agit de la déduction de la *constante solaire*. Non seulement la question de cette *constante* présente des aléas pour différentes raisons, météorologiques, astrophysiques, etc., mais la détérminaison de Q_0 par les mesures pyrhéliométriques ordinaires présente des difficultés spéciales parce que les intensités sont très petites et toutes les erreurs dans les lectures conduisent à de grandes erreurs dans le résultat final.

Faisant toutes les réserves quant à la possibilité et l'utilité de l'évaluation de la *constante solaire* au moyen des mesures de l'intensité totale et des intensités partielles du rayonnement solaire, mentionnons que numériquement la valeur de Q_0 peut être aussi déduite du rapport $Qm+1/Qm$, lequel permet de trouver facilement la valeur inconnue de δ, sans que les mesures supplémentaires de l'intensité partielle, à travers les filtres absorbants, soient nécessaires.

Cette idée d'Angstrom a été appliquée par H. Kimball, *Bull. of the Mount Weather Observatory*. vol. I et II, Washington, 1908, qui s'est servi, au lieu de la formule (1), d'une relation un peu plus générale de la forme

$$Q_m = Q_0 \frac{p^{m\delta}}{1 + nm\delta^{\varepsilon}} \qquad (7)$$

où les coefficients $p = 0.93$, $n = 0.18$, $\varepsilon = 1/2$ sont basés sur les séries bolométriques du Smithsonian Institution.

De même, quant à l'absorption de la vapeur d'eau, H. Kimball se sert d'une formule empirique de la forme :

$$W = Q_0 \ (a + b\delta + c \cdot E\, m) \qquad (8)$$

où $a = 0.061$, $b = \sqrt{0.008}$, $c = 0.0012$ et
$E = 2,3 f$ — pression de la vapeur d'eau en mm.

La formule (8) est fondée sur les données expérimentales de C. G. Abbot concernant l'influence de l'absorption de la vapeur d'eau dans l'atmosphère au-dessus du Mount Wilson et Washington. D'après les formules (7) et (8), le moyen le plus pratique de trouver la valeur de Q_0, est de l'évaluer de la relation

$$\frac{Q_3}{Q_2} = \frac{\dfrac{p^{3\delta}}{1 + 3\,n\delta^{\varepsilon}} - (a + b\delta + 3\,c\,E)}{\dfrac{p^{2\delta}}{1 + 2\,n\delta^{\varepsilon}} - (a + b\delta + 2\,c\,E)} \qquad (9)$$

d'où

$$Q_0 = \frac{Q_2}{\dfrac{p^{2\delta}}{1 + 2\,n\delta^{\varepsilon}} - (a + b\delta + 2\,c\,E)} \qquad (10)$$

peut être facilement déduite.

Outre les objections générales quant à l'application des formules (9) et (10) à la déduction de la *constante solaire*, nous avons trouvé que les coefficients de Kimball ne s'appliquent ni à Varsovie ni à Touggourt. Pour les environs de Varsovie (Ursynow) on obtient [1] $a = 0.22$, $b = 0.008$ et $c = 0.0004$.

Pour les raisons indiquées plus haut nous ne donnons pas, pour Touggourt, les valeurs de Q_0, obtenues par cette méthode, bien que les mesures assez nombreuses, y exécutées, permettent de calculer Q_0 pour plusieurs jours. Notons seulement que les valeurs de Q ainsi calculées oscillent généralement entre 1.9 et 2 0 gr. cal. cm², minute.

---

(1) *Lad. Gorczynski. Sur la valeur de la « constante solaire » d'après les mesures prises à Ursynow, Pologne, en été 1909.* Comptes rendus des séances de la Société des Sciences, 1 fasc. 3, p. 134, 145, Varsovie, 1910.

O wartosciach stalej slonecznej wedlug pomiarow, dokonanych sposobem ekranow absorbcynych w Ursynowie, pod Warszawa, w ciagulata 1909 roku.

Ibidem, fasc. 7, pp. 283, 305, Warszawa, 1909.

O metodzie pyrheliometrycznej wyznaczania « stalej slonecznej » bez ekranow absorbcyjnych. Ibidem, fasc. 8, pp. 410, 426, Warszawa 1909.

CHAPITRE V

Sur l'actinomètre à lame bimétallique et son étalonnage

Dans sa partie essentielle cet actinomètre, construit par M. Michelson, se compose d'une lame mince bimétallique qui se courbe sous l'influence des rayons solaires. Cette courbure mesurée à l'aide d'un microscope micrométrique dépend de la quantité de chaleur qui passe par la lame.

L'analyse fondée sur la théorie de l'élasticité a conduit M. Michelson à la conclusion que l'actinomètre donne la plus grande sensibilité pour

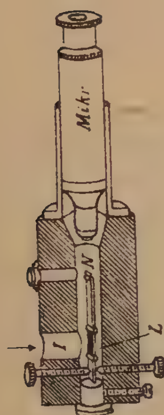


Fig. 1. — Actinomètre à lame bimétallique (Modèle de Michelson)

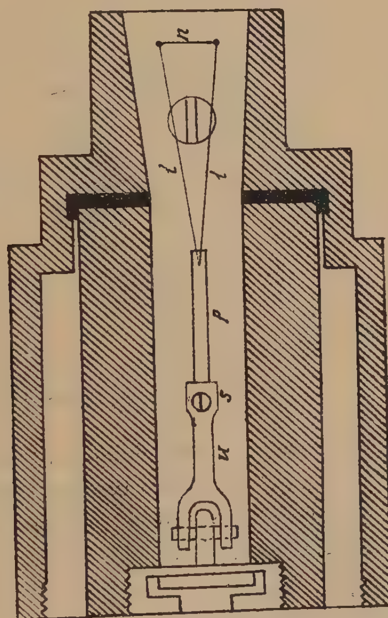


Fig. 2. — Actinomètre bimétallique (Section horizontale)

une épaisseur totale donnée de la lame, quand les carrés des épaisseurs des deux métaux employés sont inversement proportionnelles aux modules d'élasticité correspondants. Il en résulte qu'en employant la lame bimétallique platine — cuivre la relation des épaisseurs doit être égale à 11 : 13, pour platine — argent 2 : 3 etc.

Dans les derniers modèles des actinomètres la lame bimétallique est composée d'invar et de fer, la surface est recouverte de noir de platine, de même que l'intérieur du cylindre qui contient la lame. Les dimen-

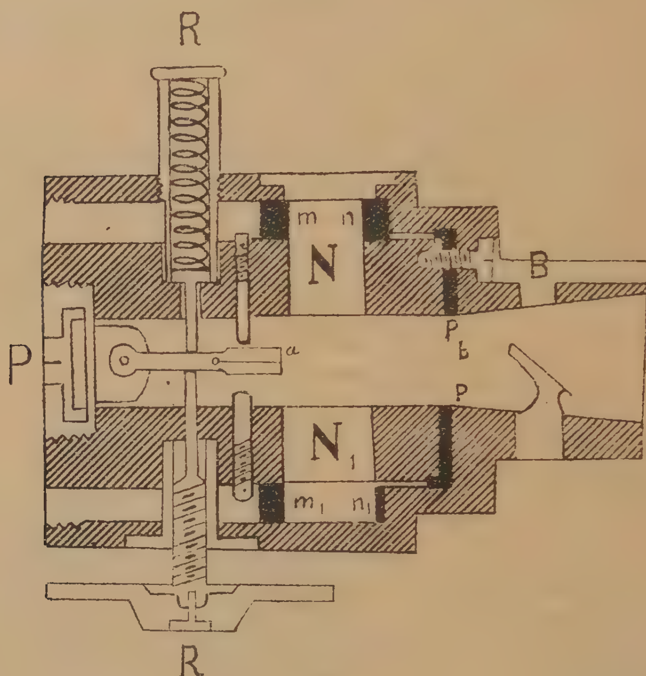


Fig. 3. — Actinomètre bimétallique (Section verticale)

sions de la lame invar-fer platinée, dans l'actinomètre *N*. 315 employé à Touggourt, sont les suivantes : longueur 11 mm, épaisseur 0,05 mm ; la largeur n'est pas indiquée, mais elle ne dépasse pas 2 mm.

Si nous désignons par :

a l'épaisseur totale de la lame

l la longueur de la lame exposée au rayonnement

C_1 et C_2 les coefficients de dilatation linéaire de deux métaux

t_1 et t_0 les températures de la lame et du milieu ambiant

h le coefficient de refroidissement

q la quantité de chaleur qui passe par la lame

le fil en quartz change de position, d'après M. Michelson (1), d'une longueur qui est égale à

$$y = \frac{3\, l^2}{a} (C_1 - C_2) (t_1 - t_0) \qquad (1)$$

D'autre part on a

$$t_1 - t_0 = \frac{1}{2} \frac{q}{h} \qquad (2)$$

En combinant les équations (1) et (2) on trouve

$$q = \frac{2}{3} \frac{h\, a\, y}{(C_1 - C_2)\, l^2} \qquad (3)$$

On peut obtenir la sensibilité actinométrique de l'instrument de Michelson, mesurée par le nombre de divisions de son échelle, en multipliant la relation y/q par le grossissement de l'objectif du microscope.

Si une division de l'échelle micrométrique correspond au changement de position de w cm. du fil de quartz, la sensibilité actinométrique sera

$$A = \frac{y}{q\,.\,w} = \frac{3}{2} \frac{(C_1 - C_2)\, l^2}{w\,.\,h\,.\,a} \qquad (4)$$

Elle est donc proportionnelle pour deux métaux choisis au carré de la longueur de la lame et inversement proportionnelle à l'épaisseur et au coefficient de refroidissement de la lame bimétallique.

L'actinomètre à lame bimétallique étant un instrument relatif, il est essentiel, pour obtenir des résultats comparables, de l'étalonner à l'aide d'un pyrhéliomètre absolu.

Le coefficient de l'actinomètre ainsi obtenu est rigoureusement valable dans le cas où l'on opère dans les mêmes conditions que celles pour lesquelles l'appareil a été étalonné.

Le microscope doit être placé dans une position fixe bien déterminée et invariable dans le tuyau microscopique, et seul l'oculaire doit être mis au point, afin que les traits du micromètre soient parfaitement visibles.

---

(1) Voir *Annales de la Société Météorologique de France*, vol. 56, 1908, et plus spécialement *Physikalische Zeitschrift*, 9, Jahrg., N. 1, pp. 18-24, et *Meteorologische Zeitschrift*, vol. 25, 1908.

(2) Voir *Lad. Gorczynski. Sur les mesures de l'intensité du rayonnement solaire effectuées à Varsovie et sur la théorie des appareils employés*, 8, pp. 216, Thèse. Montpellier 1906.

Voir aussi du même auteur : *Comparaisons entre l'actinomètre bimétallique de Michelson et le pyrhéliomètre électrique d'Angstrom.* Varsovie, Comptes rendus de la Société des Sciences, 1915. Le dernier mémoire a été publié en collaboration avec Mlle Wierzbicka.

Si la position du microscope diffère de celle pour laquelle l'étalonnage a été fait, la sensibilité de l'actinomètre est autre et par suite le facteur de réduction est changé.

Il va sans dire que les traits de l'échelle du micromètre doivent être dirigés parallèlement à l'index mobile fixé sur la lame.

L'actinomètre ne doit pas être exposé à des secousses et au vent ; on le place pour l'observation sur une table ou un autre support suffisamment solide. Si l'instrument vient d'être sorti d'un emplacement ayant une température très différente de celle du lieu d'observation il vaut mieux attendre quelque temps jusqu'à ce que le bloc en cuivre ait pris une température suffisamment stationnaire, et puis répéter le réglage de l'index.

Pour les mesures de l'intensité totale M. Michelson donne dans son instruction les recommandations suivantes :

1° On oriente l'appareil en le tournant autour des axes vertical et horizontal, au moyen de la vis de rappel, de façon que le point lumineux formé par les rayons solaires passés par le dioptre, coïncide exactement avec l'intersection des traits noirs sur le cercle blanc. On note la distance zénithale du soleil et aussi la position de la vis de *température.*

2° On lit la position de l'index sur l'échelle micrométrique, la fente étant fermée, et immédiatement après, on soulève l'écran pour laisser accès aux rayons solaires. Pendant que l'on note le temps et la valeur de la lecture la lame atteindra sa nouvelle position d'équilibre.

3° On fait la lecture de l'index *au soleil* après un nombre déterminé de secondes, 20 secondes par exemple, après la première lecture, et immédiatement on recouvre la fente.

4° Après un nouvel intervalle de 20 secondes, ou plus, mais toujours le même, on fait une nouvelle lecture de l'index *à l'ombre.*

La différence entre la lecture *au soleil* et la moyenne des deux lectures *à l'ombre* donne une valeur proportionnelle à la radiation solaire.

Ainsi une observation comprend trois lectures et dure 40 secondes si l'intervalle entre chaque lecture était de 20 secondes. A Touggourt on a fait les mesures toutes les 30 secondes à cause des filtres qu'il a fallu changer. Entre les trois lectures d'une observation qui a duré 1 minute à Touggourt on ne doit jamais toucher à la vis de *température*, car *le zéro* de la lame change en même temps.

Si l'on fait une série de lectures continues, il n'est point nécessaire de corriger l'orientation plus souvent qu'après 7 ou même 9 lectures. Alors on dispose les notes et les calculs comme il suit :

Alger, Hôtel des Facultés, terrasse supérieure, 9 mars 1923

Actinomètre bimétallique N° 315

Distance zénithale : 41° 9		POSITION de la vis de "température" : 58	
Temps vrai	Lectures	MOYENNES des deux lectures voisines	Différences :
11h 29m 0s	24.8 .... ombre	24.3	49.8
20s	soleil... 74.1	73.6	49.8
40s	23.8 .... ombre	23.75	49.35
30m 0s	soleil... 73.1	73.0	49.0
20s	23.7 .... ombre	23.55	49.35
40s	soleil... 72.9	Moyenne...	49.6
11h 31m 0s	23.4 .... ombre		

Distance zénithale : 41° 9

Etant donné que le coefficient de réduction est égal à 0.0260, pour la position de vis de température 58, on obtient pour l'intensité totale Q du rayonnement solaire

$$Q = 1.29 \text{ gr. cal. cm}^{-2}, \text{ min.}^{-1}$$

Si l'on veut faire en même temps les mesures de l'intensité totale et partielle du rayonnement solaire, en employant les filtres, il faut changer le schéma d'observations. Voici un exemple d'une série dés mesures avec les filtres solaires, tirée de notre campagne actinométrique de Touggourt.

Remarquons que les intervalles entre les mesures étaient de 30 secondes, cet intervalle étant plus commode pour changer les filtres.

TABLEAU XII. — Touggourt 22 avril 1924

TEMPS VRAI	Dist. zenith. z	LECTURES						MOYENNES de deux lectures voisines	DIFFÉRENCES	% (1)
		ombre	soleil	rouge	infrar.	bleu	jaune			
10h 02m	34.1	23.0								
			64 0					23.5	40.5	
03m		24.0								
				47.3				24.2	23.1	57
04m		24.3								
			65.0					24.7	40.3	
05m		25.0								
					31.3			25.0	6.3	16
06m		24 9								
			65.5					25 0	40.5	
07m		25 0								
						32 2		24.7	7.5	18
08m		24.3								
			65.0					24.4	40.6	
09m		24.5								
							39.7	24.4	15.3	37
10h 10m	32.7	24.2								
			64.9					24.6	40.3	
11m		25.0								
				48.1				25.0	23.1	58
12m		25.0								
			65 6					25.3	40 3	
13m		25.6								
					32.0			25.7	6.3	16
14m		25.8								
			66.2					26.1	40.1	
15m		26.3								
						34.2		26.6	7 6	19
16m		26.9								
			67.1					27.2	39.9	
17m		27.5								
							42 9	27.7	15.2	38
18m		27.9								
			68.1					27.9	40.2	
19m		27.8								
10h 20m	31.0									

Position de vis de "température" = 67.

(1) Les pourcentages des valeurs obtenues par les filtres (rouge, infrarouge, bleu et jaune) se rapportent aux valeurs correspondantes de l'intensité solaire totale, obtenues cependant par un verre incolore, employé ce jour à Touggourt pour protéger la lame actinométrique contre la poussière du désert. Cela explique pourquoi les pourcentages obtenus à Touggourt le 22 avril 1924 diffèrent légèrement de ceux que l'on trouve dans la grande table des pages 62-73.

Passons maintenant à la question de l'étalonnage de l'actinomètre bimétallique N° 315, employé à Touggourt.

Il a été comparé plusieurs fois dans des conditions très différentes, soit avec les pyrhéliomètres d'Angstrom (fig. 4), soit avec les "Silverdisc" d'Abbot (fig. 5), soit enfin avec d'autres actinomètres bimétalliques.

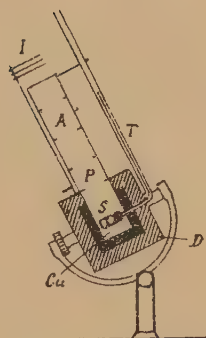


Fig. 5. — Pyrhéliomètre à disque d'argent (Modèle d'Abbot)

Fig. 4. — Pyrhéliomètre absolu à compensation électrique (Type d'Angstrom)

Voici les résultats de ces comparaisons.

A) Comparaisons faites à l'Observatoire météorologique de Potsdam, par M. Marten, avec un pyrhéliomètre d'Angstrom.

Positions de vis de "température"	Coefficients	Positions de vis de "température"	Coefficients
—	—	—	—
5	0.0250	30	0.0248
0	0248	35	0250
5	0246	40	0252
10	0244	45	0254
15	0244	50	0256
20	0246	55	0258
25	0.0247	60	0261
		70	0.0265

Période de comparaisons : mai et juin 1922.

B) Comparaisons effectuées à l'Observatoire météorologique de Batavia (Java). Observateurs : M. Braak, Silverdisc d'Abbot S. I. 26, et M. Gorczynski, actinomètre de Michelson N. 315.

20.VI.1923	K = 0.0267	Positions de vis de temp.
	Q entre 0.84 et 1.21	entre 33 et 46
22.VI.1923	K = 0.0255	Position moyenne de vis de temp.
	Q entre 0.39 et 0.68	égale à 17.

Conditions de mesures peu favorables par suite des petits nuages autour du soleil.

C) Comparaisons effectuées à Varsovie et à Lwow (Léopol) en Pologne entre l'actinomètre N. 315 et le *Silverdisc* S. I. 37, appartenant à l'Institut de géophysique de l'Université de Léopol.

Ces comparaisons n'ont pas été faites directement mais par l'intermédiaire d'un autre actinomètre bimétallique, N. 345, qui a été transporté de Varsovie à Lwow (Léopol) pour une série comparative temporaire.

Tout d'abord on a établi à Varsovie, 17 et 24 septembre 1923, le rapport des coefficients entre les deux actinomètres bimétalliques qui a été trouvé égal à 1.04, le coefficient de N. 345 étant plus grand que celui de N. 315.

En même temps on a noté les positions correspondantes de vis de température pour les deux actinomètres en question.

Transporté ensuite à Lwow l'actinomètre N. 345 a donné, d'après les mesures de M. Liana, les valeurs du coefficient qui, divisées par 1.04 et rapportées à la position correspondante de *vis de température*, sont sensiblement les mêmes que les coefficients obtenus à Potsdam. Ainsi, par exemple, pour la position de vis 55 de l'actinomètre N. 315 le calcul donne K = O. 0258, ce qui concorde parfaitement avec le tableau des coefficients trouvés à Potsdam.

D) Les comparaisons, effectuées à Varsovie, en octobre 1923, entre les actinomètres bimétalliques N. 315 et N. 123 ont montré une bonne concordance des coefficients de ces deux instruments, qui ont été étalonnés indépendamment à Potsdam avec un pyrhéliomètre d'Angstrom. Par contre une série de comparaisons, effectuée à Varsovie, par les soins de M. Stenz à l'Institut de Physique, le 29 octobre 1923, a donné, par rapport avec le pyrhéliomètre d'Angstrom N. 178 :

K = O. 0255 pour la position 18 de vis de l'actinomètre N. 315 tandis que le coefficient correspondant de Potsdam est 0.0245 c'est-à-dire plus petit de 4 %.

On voit d'après toutes nos séries de comparaisons qu'on n'arrive pas toujours facilement à un résultat final et bien déterminé, en multipliant les comparaisons entre les instruments de différents types.

Il est très probable, si non certain, que les mesures faites avec les pyrhéliomètres du type *Silver-disc*, qui ne donnent que les valeurs moyennes pendant une période relativement longue, ne sont pas rigoureusement comparables avec celles des actinométriques bimétalliques qui sont beaucoup plus rapides en action ; cela s'applique surtout aux cas où le ciel autour du soleil n'est pas parfaitement dégagé de petits nuages ou de légers voîles, ce qui était le cas à Batavia (Java).

En attendant les résultats définitifs de nouvelles séries de comparaisons qui sont commencées sur un plan plus vaste, nous avons préféré ne pas changer pour le moment les coefficients de l'actinomètre N. 315, établis à Potsdam. Il n'est pas besoin de répéter que tous les coefficients et, en général, toutes les valeurs de l'intensité du rayonnement solaire qui figurent dans le présent travail se rapportent à l'échelle de l'Institut Smithsonien.

CHAPITRE VI

Sur la marche des intensités partielles et de l'intensité totale du rayonnement d'après les mesures effectuées à Touggourt avec les filtres solaires

Comme il a été établi auparavant, nous avons fait usage, à Touggourt, des quatre filtres suivants :

1° verre infrarouge (verre noir, épaisseur 7,3^{mm})

2° filtre bleu (cuvette de 11,3^{mm} d'épaisseur remplie de la solution de sulfate de cuivre)

3° filtre jaune (cuvette de 11,3^{mm} d'épaisseur remplie de la solution de bichromate de potassium)

4° verre rouge (F. 4512 d'Iéna, épaisseur 3,95^{mm}).

Commençant par le verre infrarouge, dont la transmissibilité dans les différentes parties du spectre solaire a été donnée plus haut, mentionnons d'abord que la fraction du rayonnement solaire transmise par ce filtre donnait 14 % environ à midi en mars et avril 1924 à Touggourt. Cette proportion, dûe non seulement à l'absorption mais aussi à la réflexion du verre, augmente au fur et à mesure que le soleil s'approche de l'horizon ; le pourcentage de l'infrarouge qui oscille autour de 14 % à midi s'approche et probablement peut même dépasser 30 % pour les distances zénithales voisines de 90° ou, ce qui revient au même, pour les masses atmosphériques dépassant 25.

Les détails concernant la marche diurne et les variations d'un jour à l'autre du % de l'infrarouge, sont données dans le tableau XIII.

Pour abréger le tableau on a groupé les valeurs du pourcentage, en prenant les moyennes pour les intervalles déterminés des masses atmosphériques (m). Les lettres placées sous les dates signifient : a = avant midi ; p = après midi.

On voit dans le tableau que la variation diurne est très bien accentuée, tandis que les variations interdiurnes (apériodiques) sont irrégulières et en général peu considérables. Les valeurs pour une masse déterminée oscillent autour d'une moyenne dans les limites assez restreintes. Cela s'applique surtout pour les masses jusqu'à 5 (distances zénithales

TABLEAU XIII. — **Pourcentage de l'infrarouge par rapport à l'intensité totale du rayonnement solaire à Touggourt (mars-avril 1924)**

Masses atmosph.	MARS 1924												AVRIL 1924																									
	25	27		28		29		30		31		1er		2		3		4		5		8		9		10		11		12		13		14	
	p	a	p	a	p	a	p	a	p	a	p	a	p	a	p	a	p	a	p	a	p	a	p	a	p	a	p	a	p	a	p	a	p	a	p
	°/o	°/o		°/o		°/o		°/o		°/o		°/o		°/o		°/o		°/o		°/o		°/o		°/o		°/o		°/o		°/o		°/o		°/o	
1.2.....	»	14			»		»	15		15		14	14	14		14		14		15			»	13		14	15	14		14		14	14	15	
1.4.....	14		14	14	15	14			14		»		»		»		14		15	14	15	15			14		»		14	15			»	15	
1.6.....	»		»		»		»	14			»		»	14			»		»		»		»	14			»		»		15		»		»
1.8.....	»	15	15		»	15			»		»		16		»		15		»	15			»		»		»		»		»		»		16
2.0.....	»		»		»		»		15	15		15		15		15		15			»		»		»	15		15	15	15		15	15		»
2.5.....	15		»		»		»	15			»		»		16		»		»	16			»		»		»		»		»		16		»
3.0.....	»		»	15		16		16		16			»		»		16		»		»	16			»		16	16			16		»		17
3.5.....	»		»		»	17			16		»		17	16			»		»		18		»	16			»		»	17		16		16	
4.0.....	»		»	16		18		17		17			»		»		»		»	17			»		»	16	17		»		»		»		»
4.5.....	16		»		»		»		17		»		»	17			17		»		»		»		»		»		»		»		»		»
5.0.....	»		»	17		19			»	18			»	18	17	17			»		»		»		17		»	17	17	18		17			»
6.0.....	17		»	18			»		»		»	17			»		»	19			»	18		17			»	18			»		»		19
7.0.....	»		»		»		»	18			»	18		19			»	21			»		»		»	20			19		»		»		»
8.0.....	»		»		20		»		20	20			20		»	20	20		»	21		19		19			20		»	20			20	19	
9.0.....	»		»		»		»		»	21		19			»		»	22			»		»		»		»		20		»	22			»
10.0.....	19		»	19	21		»		21	23			»	22			»		»	22			»	20		21		21			»		»		»
12.0.....	»	20			»		»		22		»	20			»		22	23			»		»		»		»		»		»		»		»
14.0.....	»		»		»		»		»		»		»		»		»		»	24			»		»		22		»	22		23			24
16.0.....	»	22			25		»		»		»		»		»		»		»		»	23		22		24			»		»		»		»
18.0.....	»		»		»		»		»		»		»		»		»		»		»		»		»		»	23			26	25			»
20.0.....	»		»		»		»		»		»	25			»		»		»	28			»		25		28		»		»		»		»
25.0.....	»		»		»		»	26			»		»		»		28		»		»		»		»		»	27		29			»		»

Tension de la vapeur d'eau (en millimètres) à Touggourt

TEMPS	25	27	28	29	30	31	1er	2	3	4	5	8	9	10	11	12	13	14
7 h.....	12.8	5.8	6.1	6.0	5 6	6.0	6.6	6.3	7.1	7.4	8.0	7.9	6.1	6.7	6.4	6.7	8 3	8.1
13 h.....	12.5	5.8	5.4	6.1	5.9	4.3	6.7	7.1	8.3	8.5	9.7	5.2	6.6	6.4	7.6	8.7	8.8	7.2
16 h.....	12.1	5.5	6.9	4.9	7.0	4 4	5.7	6.7	8.0	8.9	7 9	4.6	6.3	6.7	7.8	8.7	8.0	6.0

jusqu'à 80° ou environ entre 6 h. 1/2 et 17 h. 1/2 pendant la période d'observations à Touggourt). Pour les masses plus grandes, c'est-à-dire pendant le temps tout près du lever et du coucher du soleil, les différences du pourcentage de l'infrarouge entre les jours particuliers deviennent un peu plus grandes probablement à cause des erreurs qui augmentent avec les valeurs de la radiation solaire qui tombent rapidement en ce moment.

La courbe qui exprime la marche de pourcentage de l'infrarouge en fonction des masses atmosphériques montre une petite inflexion vers m = 1,2 bien qu'en général elle ne s'éloigne pas trop d'une ligne droite. En prenant les chiffres ronds, et surtout les valeurs arrondies pour les distances zénithales Z on obtient pour Touggourt (en mars et avril 1924) :

m = ...	1	2	3	4	6	8	10	12	14	16	18	20	25
z (1) = ...	0°	60°	71°	76°	80°	83°	85°	86°	86°	87°	87°	88°	89°
Infrar. °/o..	14	15	16	17	18	20	21	22	23	24	25	26	28

Remarquons enfin que dans certains jours on a observé le minimum du °/o de l'infrarouge non pas à midi vrai, mais un peu avant. On voit cela immédiatement dans deux jours (30 III et 5 IV) où le pourcentage de l'infrarouge est plus grand pour m = 1,2 que pour m = 1,4. Il est possible que cela dépende de la marche diurne de la tension de la vapeur d'eau, quoique les valeurs de la tension, citées à la fin du tableau, ne semblent être dans aucun rapport direct avec les variations interdiurnes du °/o de l'infrarouge..

Enfin on peut essayer de se rendre compte théoriquement pourquoi le pourcentage de l'infrarouge transmis par notre verre de « marbre » est voisin de 14 °/o.

(1) Valeurs arrondies.

En effet ce verre noir, examiné spectrographiquement, laisse passer, comme nous avons vu auparavant, les pourcentages suivants de l'intensité totale du rayonnement solaire.

λ	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2 4	2.6	2 8μ
°/₀........	5	13	24	46	71	79	84	85	81	64	30	9

D'autre part on sait (voir tableau III, chapitre II) que la distribution de l'intensité totale dans le spectre solaire à la surface terrestre donne approximativement :

0.2	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.7	(microns)
24	36	18	8 ½	8	2 ½	3 °/₀	=	100 °/₀

De ces deux petites tables on peut calculer facilement que notre verre devrait transmettre environ 23 °/₀ de l'intensité totale, d'où, en déduisant la perte par réflexion, on arrive à un nombre voisin de 14 °/₀.

Passons maintenant à l'examen des résultats obtenus à Touggourt avec le filtre bleu, sous la forme d'une cuvette de 11,3^{mm} d'épaisseur remplie d'une solution de 30 gr. sulfate de cuivre ($Cu\,So_4$) dans 100 gr. H_2O.

Tableau XIV. — Fraction par rapport à l'intensité totale du rayonnement solaire transmis par le filtre bleu. Touggourt (mars-avril 1924)

Masses atmos. (m)	MARS 1924									AVRIL 1924														
	23	25	28	29		30		31		1er		2		3		4		5		13		14		15
	a	p	a	a	p	a	p	a	p	a	p	a	p	a	p	a	p	a	p	a	p	a	p	a
	°/o	°/o	°/o	°/o		°/o		°/o		°/o		°/o		°/o		°/o		°/o		°/o		°/o		°/o
1.2	19	»	20	19		20	19	18	18	19	19	20	18	18	18	19		19	19	21	21	21		»
1.4	»	»	»	20			20	19	19	20	20	19		19		18	19	»			21	21		19
1.6	»	»	»	19		19		18		19		»			17		»	18	18	20		»		19
1.8	»	»	»	18		»			»	»		»		»		17		»			20	»		»
2.0	»	»	19	»		18	18	17		19	18	18		18	16	16		17		19			19	18
2.5	18	19	18	»		17		16		»		16	16		16	15			16	17	17	18		»
3.0	17	18	17	16			17		»	17			15	16	15	14		»		16	16	17		»
3.5	16	»	»	»		16			»	»		14		15		»		»		15		16		»
4.0	»	»	15	14		»		13		15	15	13	15	14	14	»		14		»		15		»
4.5	»	»	14		14	14	14		»	»		»			13	»		»		»		»		»
5.0	»	13	»		13	»		12		14	13	11		11	11	12		»			13	13	12	»
6.0	13	»	»	12	12	12			»	13		10	12	»		11		10		13	12		11	»
7.0	»	11	10		11		10		»	12	12	9		10	8	»		9		»		»		»
8.0	»	»	»	»		»		9			11		9	»		8		8			11	10	9	»
9.0	»	»	»		10	9		8		»		»		9	7	»		»		»		»		»
10.0	»	»	9	9		8		7		»		»		8		5		7		8		9		»
12.0	»	»	»		7	»			»	7		»			5	»		»		»		»		»
14.0	»	»	»	»		»			»	6	4	4		»		»		»			7	6	4	»
16.0	»	»	»	»		6			»	»		»			1	»		»		»		»		»
18.0	»	»	»	»		»			»	5		»		»		»		»		»		»		»
20.0	»	»	»	»		4		3		»		»		»		»		»			3	»		»
25.0	»	»	»	»		»			»	»		»		»		»		»		3		»		»
30.0	»	»	»	»		»			»	4		»		»		»		»		»		»		»

Pour abréger le tableau, les fractions (en °/₀ de l'intensité totale) du rayonnement solaire transmis par le filtre bleu sont groupées, en prenant les moyennes dans les intervalles successifs des masses atmosphériques (m).

En prenant les moyennes arrondies on obtient les variations suivantes du « bleu » avec la masse atmosphérique (m).

m..........	1	2	3	4	5	7 ½	10	15	20	atm.
°/₀ du bleu ..	19	18	16	14	12	10	8	5	3	°/₀

L'analyse un peu plus détaillée de la marche diurne conduit à la conclusion que le maximum du *bleu* se produit avant midi ; on voit cela du reste directement dans plusieurs jours figurant dans le tableau.

En prenant les moyennes on obtient :

m...............	1.2	1.4	1.6	1 8	2.0	2.5
°/₀ du bleu	19.2	19.5	18.8	18.2	17.7	16.8

Rappelons que le phénomène analogue a été constaté pour l'infrarouge qui montre avant midi aussi le minimum diurne (correspondant au maximum du *bleu*).

Puisque la marche diurne de l'infrarouge est et devrait être inverse à celle du *bleu*, on peut déduire, à priori, que dans certaine partie intermédiaire du spectre il y aura peu de variations au cours du jour. C'est ce que nous montrent les résultats obtenus à Touggourt avec le filtre jaune, utilisé sous la forme d'une cuvette remplie d'une solution de 5,16 gr. de bichromate de potassium dans 100 gr. de H_2O.

Masses atmosphériques (m) :	1.4	2	3	5
	°/₀ du jaune			
25 mars (a.m)	40		43	44
12 avril......................		42		
13 —	39	41	42	44

Bien que les mesures n'étaient pas assez nombreuses pour arriver à des résultats définitifs, on voit que les pourcentages du jaune montrent une augmentation entre le rouge (où l'augmentation est de 10 °/₀ entre les masses atm. de 1 à 5) et le bleu où l'on constate la diminution de 7 °/₀ dans le même intervalle.

Pour le filtre rouge d'Iéna qui laisse aussi passer la partie infrarouge du spectre, les résultats sont consignés dans le tableau XV, d'où nous

Tableau XV. — Pourcentages du « rouge » (avec l'infrarouge) en fonctio

M	MARS 1924															1er	
	22	23	25		26	27		28		29		30		31		1er	
	p	a	a	p	a	a	p	a	p	a	p	a	p	a	p	a	p
	%	%	%		%	%		%		%		%		%		%	
1 0........	»	»	»		»	»		»		»		»		»		»	
										48							
1 2........	»	49	49		49	49	49	»		»		47		48	49		49
			48		50					49			48				
1.4........	»	»		50	»	»			50	50		48		49		47	
1.6........	»	50	»		»		49	48		»		49		»		48	
						49							50				
1.8........	»	52	»		»	50		48		51		»		50		49	
2 0........	»	»	51		»	»		»		»		50		»		»	
				51													
2.2........	»	»	»		50	»		»		52			51	»		49	
		54												52			
2.6........	»	»	51	52	54	»		»		53		»		»		»	
		57														50	
3.0........	»	»		53	»	»		»		54		52		»		»	
					55			53						54			
3.4........	»	»	»		»	»		»		55		»		»		52	[illegible]
					56							53		56			
3.8........	»	»	»		57	»		»		56		»		»		53	
	58							54				53		55			
4.2.......	»	»	»		»	»		»		»			55	»		»	
				56						58						54	
4.6........	»	»	»		»	»		»			55	56		»		55	
5.0........	59	»	»		»	»		»		59		57		»			[illegible]
											56						[illegible]
5.4........	»	»	»		»	»		»		»		58		58		»	
								58								56	
5.8........	»	»	»		»	»		»		60		»		»		»	
6.0........	61	»	»		62	»		»		»		»		»		»	
6.5........	»	»	»		»	»		60		»		»		»		58	
										63		59					[illegible]
7.0........	»	»		62	»	»		»		»		»		»		»	
	63				64						64		63				
8.0........	»	»	»		»	»		»		»		61		»		60	
										65				65			64
9.0........	»	»	»		»	»		»		»		63		»		»	
						67			68								
10.0........	67	»		65	»	»		»		»		»		»		»	
													65				
11.0........	»	»	»		»	»		»		»		»		»		»	
								67		69		64					

…s masses atmosphériques. Touggourt (22 mars - 15 avril 1924)

AVRIL 1924

2		3		4		5		8	9		10		11		12		13		14		15	
a	p	a	p	a	p	a	p	a	a	p	a	p	a	p	a	p	a	p	a	p	a	p
%		%		%		%		%	%		%		%		%		%		%		%	
»		»		49		»		»	»		»		»		47		50		»		»	
47	48	47		48	49	49	49	49			48		48		48	48	49					
48		»		»		»		»	48			49	49	49	»			51	»		51	
							50	49							49	49	50		50			
»			48		50	»		»	49		»		50		»		»		»		52	
		48			52																	
49		»		49		50		»		49	»		»		»		»		»		»	
													50									
50		49		»		»		»	»			50	»		»		»		»		»	
			50											50								
»		»		»		51	51	»	»		50		51			52	52			54	53	
51								51							50							
»		»		»		»		»	»		»		»		»		»		»		»	
										50			52									
	52	»		»		52		»	»			52	»		52	53	»		»		»	
			52				54	52										54				
53		»		53		»		»		51		53	53	53	»		53		»		»	
		53									52					54					57	
»		»		»		»		»	52			54	54		»		56	56	»		»	
			53			55		54	53	53		55			54							
»		»		»			56	»	»		»		»		»		»		»		»	
54	54	54				57			54	55	54			55			57		56			
»		»		»		»		»	»		»		56		»		»		»		»	
		56	56						55								57					
»		»		»		»		»		57	»		»		»		»		»		»	
	58																					
»		57	57	57		»		»	»		»		57	57	»		60		59		»	
																		58				
»		»		»		»		»	»		»		»		»		»		»		»	
		59		59																		
»		»		»		»		»	»		»		»		59		»		»		»	
»		»		»		»		»	57		»		»		»		»		60		»	
61								60														
	60	60		»		»		»	59		»		»		»		»			62	»	
				61									59				60				62	
»		64		»		64		64	»		62			62	61			63	»		»	
			63	63																		
»		»		»		»		»	»		»		64		»		»		»		»	
62									62			65			64				64			
»		»		»		67		»		62	»			64	»		»		»		»	
				70																		
71		»		73		»		»	64	63	65		»		»		68		»		»	
»			67	»		»		»	»		»		»		»		»		»		»	
												68								68		

Tableau XV. — Pourcentages du « rouge » (avec l'infrarouge) en fonction

M	MARS 1924									
	22	23	25	26	27	28	29	30	31	1er
	p	a	a p	a	a p	a p	a p	a p	a p	a p
	°/₀	°/₀	°/₀	°/₀	°/₀	°/₀	°/₀	°/₀	°/₀	°/₀
12.0	»	»	»	»	»	»	»	»	67	63
13.0........	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
								66		
14.0........	69	»	»	»	»	»	67	68	»	»
					81					
15.0........	»	»	»	»	»	»	76	»	71	65
16.0........	»	70	»	»	»	»	»	»	»	»
17.0........	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
18..........	»	»	»	»	»	»	»	69	»	»
19..........	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
20...	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
22..........	»	»	»	»	75	»	»	»	»	75
								73		
24..........	»	»	»	»	»	75	»	»	»	»
26..........	»	»	»	»	»	»	»	83	»	»
28..........	»	»	»	»	»	»	»	»	80	»
30..........	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
32..........	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
34..........	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»
36..........	»	»	»	»	»	»	»	»	»	»

masses atmosphériques. Touggourt (22 mars - 15 avril 1924) (*suite*)

AVRIL 1924

2 p	3 a	3 p	4 a	4 p	5 a	5 p	8 a	9 a	9 p	10 a	10 p	11 a	11 p	12 a	12 p	13 a	13 p	14 a	14 p	15 a	15 p
%	%		%		%		%	%		%		%		%		%		%		%	
»	71		»		»		»	»		67		»		65		»		»		»	
		68																			
»	»		»		70		»	»		»		»		»		»		»		»	
														69							
»	»		»		»		»	»		»		»		»		»		»		»	
									68												
»	»		»		»		»	68			71	»		»		71		»		»	
»	»		»		»		»	»			72	»		»		»		»		»	
					71					71											
»	»		»		»		»	»		»		»		»		»		»		»	
													73								
»	»		»		»		»	»		72		»		»		»		»		»	
												71									
»	»		»		»		»	»		»		»		»		»		»		»	
»	»		»		»		»		75	»		»		75		»		74		»	
											84		76								
»		79	»		»		»	»		»		»		»		»		»		»	
					79										73						
»	»		»		»		»	»			82	74	77	»		»		»		»	
»	»		»		»		»	»		»		»		»		»		»		»	
»	»		»		»		»	»		»		»		»		»		»		»	
»	»		»		»		»	»		»		»		»		78		»		»	
»	»		»		»		»	»		»		»		»		»		»		»	
76	»		»		»		»	»		»		»		»		»		»		»	
»	»		»		»		»	»		»		»		»		»		»		»	

déduisons les variations suivantes du rouge (avec l'infrarouge) en fonction de la masse atmosphérique (m).

m.............	1.2	1.5	2.0	3.5	5.0	7.0	15	22
°/₀ du rouge.....	48	49	51	53	58	63	70	75

On voit ici une augmentation rapide du rouge au fur et à mesure que le soleil s'approche à l'horizon.

Dans tous les pourcentages de la transmission on n'a pas pris séparément en considération la partie du rayonnement due à la réflexion et à l'absorption du verre. Pour obtenir quelques résultats intéressants à ce sujet, on a effectué une série des mesures du 18 au 24 avril 1924 à Touggourt où l'intensité totale a été mesurée en laissant les rayons solaires passer par une mince plaque de verre incolore (blanc ordinaire) de 3^{mm} d'épaisseur environ.

m (Masses atmos.)	DIFFÉRENCES : °/₀ (sans verre incolore) — °/₀ (par verre incolore)						
	1.2	2	3	4	5	10	20
verre infra......		- 1.5	»	- 2		- 3	
verre rouge.....	- 9	- 9			- 11	- 12	- 13
filtre bleu........ (liquide)	0	1	2	»	3	4	5

Ces différences ont été établies, en calculant tout d'abord le pourcentage de l'intensité du rayonnement transmis par un filtre déterminé (verre rouge d'Iéna par exemple) par rapport à l'intensité totale du rayonnement solaire, mesurée sans un verre blanc, c'est-à-dire en laissant les rayons solaires agir directement par la partie sensible de notre actinométrique bimétallique. En calculant les pourcentages analogues pour le même filtre, mais par rapport à l'intensité totale mesurée par le verre blanc, posé sur l'ouverture de l'actinomètre, on a établi les différences figurant dans la dernière table. Ajoutons que les différences pour le filtre bleu (composé d'une cuvette avec une solution de sulfate de cuivre) ne sont pas strictement comparables avec les nombres analogues pour les filtres de verre infrarouge et rouge. C'est surtout le dernier filtre coloré (verre rouge d'Iéna), transparent pour la grande

partie du spectre visible et infrarouge, qui donne les valeurs les plus caractéristiques pour la perte due à la réflexion à la surface du verre.

Cette perte est voisine de 9 % pour les petites distances zénithales du soleil. Pourtant on a constaté à Touggourt les différences jusqu'à 12 % à midi (pour *m* voisine de 1,1 entre 18 IV et 24 IV 1924) pour l'intensité totale, mesurée sans et par un verre blanc.

Les valeurs de l'intensité totale du rayonnement solaire à Touggourt, obtenues avec l'actinomètre bimétallique N° 315, sont représentées dans la grande table à la fin de cette publication. Outre les valeurs de l'intensité totale Q (cal gr. par cm^2 et minute) et les intensités partielles. on y trouve les donnés météorologiques concernant la température et l'humidité de l'air.

Pour faciliter l'aperçu des résultats ainsi obtenus, les valeurs horaires de l'intensité totale et les intensités pour les différentes masses atmosphériques sont présentées séparément dans les tab. XVI et XVII.

Tableau XVII — Valeurs de l'intensité totale du rayonnement solaire Q (gr cal cm^{-2} min^{-1}) en fonction des masses atmosphériques m

à Touggourt en printemps 1924

(d'après les mesures avec l'actinomètre bimétallique)

DATE 1924		m 1.1	m 1.5	m 2.0	m 2.5	m 3.0	m 3.5	m 4.0	m 4.5	m 5.0
22 mars	a	»	»	»	»	»	»	0.93	0.90	0.87
23 —	a	1.[illegible]	1.[illegible]	1.18	»	»	»	»	»	»
	p	1.41	»	»	»	»	»	»	»	»
24 —	a	»	1.[illegible]	»	»	»	»	»	»	»
25 —	a	1.[illegible]	1.[illegible]	»	1.11	»	»	»	»	»
	p	»	1.[illegible]	1.[illegible]	1.11	(1.[illegible])	1.[illegible]	»	»	0.78
26 —	a	1.[illegible]	(1.[illegible])	»	»	0.[illegible]	0.91	0.[illegible]	»	»
27 —	a	1.41	»	1.[illegible]	»	»	»	»	»	»
	p	1.[illegible]	(1.[illegible])	»	»	»	»	»	»	»
28 —	a	»	(1.[illegible])	1.[illegible]	»	»	»	»	»	»
29 —	a	1.[illegible]	1.[illegible]	1.[illegible]	1.14	1.[illegible]	0.[illegible]	0.[illegible]	0.[illegible]	0.82
	p	1.[illegible]	»	»	»	»	0.[illegible]	»	»	»
31 —	a	1.41	1.[illegible]	»	»	»	»	»	»	»
1er avril	a	1.[illegible]	1.[illegible]	1.[illegible]	1.[illegible]	0.[illegible]	»	0.90	0.83	0.80
2 —	a	1.44	1.[illegible]	1.[illegible]	1.12	1.[illegible]	»	0.[illegible]	»	»
3 —	a	1.[illegible]	1.[illegible]	»	»	»	»	»	»	»
	p	1.[illegible]	»	1.[illegible]	1.[illegible]	1.[illegible]	0.[illegible]	»	0.[illegible]	»
4 —	a	1.[illegible]	1.18	1.[illegible]	1.[illegible]	0.[illegible]	»	»	»	»
	p	1.[illegible]	1.[illegible]	»	»	»	»	»	»	»
5 —	a	1.[illegible]	1.[illegible]	1.18	»	1.00	0.[illegible]	0.[illegible]	»	»
	p	»	1.[illegible]	»	1.[illegible]	0.[illegible]	»	»	»	»
8 —	a	1.[illegible]	1.[illegible]	1.[illegible]	1.10	(1.00)	»	0.90	»	»
9 —	a	1.[illegible]	1.[illegible]	1.[illegible]	»	1.[illegible]	»	0.[illegible]	0.91	»
	p	1.[illegible]	1.[illegible]	1.[illegible]	»	1.[illegible]	»	0.[illegible]	0.90	»
10 —	a	1.[illegible]	1.[illegible]	(1.[illegible])	»	»	0.91	»	»	»
	p	1.[illegible]	1.[illegible]	»	»	»	0.94	»	»	»
11 —	a	1.[illegible]	1.[illegible]	1.[illegible]	1.11	1.[illegible]	0.[illegible]	0.90	0.83	0.78
	p	1.[illegible]	1.[illegible]	1.[illegible]	»	1.[illegible]	1.01	0.[illegible]	»	0.84
12 —	a	1.[illegible]	1.[illegible]	1.[illegible]	1.07	»	0.[illegible]	0.[illegible]	»	»
	p	1.[illegible]	1.[illegible]	»	»	0.97	»	»	»	»
13 —	a	1.[illegible]	1.27	1.13	»	0.[illegible]	»	»	»	»
	p	1.[illegible]	»	»	»	»	»	»	»	»
14 —	a	»	1.[illegible]	»	1.07	1.00	0.93	0.86	0.78	0.71
Moyennes		1.[illegible]	1.[illegible]	1.13	1.[illegible]	1.01	0.95	0.91	0.86	0.80
Nombre de mesures		(27)	(27)	(18)	(12)	(17)	(12)	(13)	(8)	(8)

Remarques. — Les valeurs de Q données entre parenthèses, sont interpolées ou obtenues dans de mauvaises conditions. Les jours avec le ciel voilé ou couvert sont omis.

a = avant midi *p* = après midi

Tableau XVII. — Valeurs de l'intensité totale du rayonnement solaire Q (gr. cal. cm^{-2} min^{-1}) en fonction des masses atmosphériques m à Touggourt en printemps 1924

(d'après les mesures avec l'actinomètre bimétallique)

DATE 1924		m 1.2	m 1.5	m 2.0	m 2.5	m 3.0	m 3.5	m 4.0	m 4.5	m 5.0
22 mars....	a	»	»	»	»	»	»	0.93	0.90	0.87
23 —	a	1.40	1.29	1 18	»	»	»	»	»	»
	p	1.41	»	»	»	»	»	»	»	»
24 —	a	»	1.34	»	»	»	»	»	»	»
25 —	a	1.38	1.30	»	1.11	»	»	»	»	»
	p	»	1.31	1.20	1.11	(1.07)	1.05	»	»	0.78
26 —	a	1.39	(1.23)	»	»	0.99	0.91	0.89	»	»
27 —	a	1.41	»	1.07	»	»	»	»	»	»
	p	1.42	(1.35)	»	»	»	»	»	»	»
28 —	a	»	(1.27)	1.17	»	»	»	»	»	»
30 —	a	1.37	1.32	1.22	1.14	1.04	0.94	0.92	0.86	0.82
	p	1.37	»	»	»	»	0.92	»	»	»
31 —	a	1.41	1.21	»	»	»	»	»	»	»
1er avril....	a	1.36	1.34	1.20	1.08	0.93	»	0.90	0.83	(0.80)
2 —	a	1.44	1.34	1.21	1.12	1.03	»	0.93	»	»
3 —	a	1.33	1.23	»	»	»	»	»	»	»
	p	1.33	»	1.20	1.09	1.02	0.95	»	0.85	»
4 —	a	1.34	1.18	1 09	1.00	0.92	»	»	»	»
	p	1.34	1.24	»	»	»	»	»	»	»
5 —	a	1.36	1.29	1.18	»	1 00	0.94	0.87	»	»
	p	»	1.29	»	1.09	0.90	»	»	»	»
8 —	a	1.35	1.22	1.15	1.10	(1.00)	»	0.90	»	»
9 —	a	1.27	1.25	1 17	»	1.09	»	0.96	0.91	»
	p	1.34	1.27	1.21	»	1.08	»	0.94	0 90	»
10 —	a	1.32	1.2[illegible]	(1.20)	»	»	0.91	»	»	»
	p	1.29	1.28	»	»	»	0.94	»	»	»
11 —	a	1.34	1.28	1.23	1.11	1.06	0.99	0.90	0.83	0.78
	p	(1.39)	1.25	1.22	»	1.07	1.01	0.95	»	0.84
12 —	a	1.35	1.27	1.16	1.07	»	0.87	0.93	»	»
	p	1.33	1.28	»	»	0 97	»	»	»	»
13 —	a	1.32	1.27	1.13	»	0.94	»	»	»	»
	p	1.34	»	»	»	»	»	»	»	»
14 —	a	»	1.26	»	1.07	1.00	0.93	0.86	0.78	0.71
Moyennes		1.36	1.28	1 18	1.09	1.01	0.95	0.91	0.86	0.80
Nombre des mesures.		(27)	(27)	(18)	(12)	(17)	(12)	(13)	(8)	(8)

Remarques. — Les valeurs de Q, données entre parenthèses, sont interpolées ou obtenues dans de mauvaises conditions. Les jours avec le ciel voilé ou couvert sont omis.

a = avant midi   *p* = après midi

SUPPLÉMENT

Résumé des mesures actinométriques effectuées à Touggourt (*) (mars-avril 1924)

TEMPS LOCAL VRAI	Distance zénithale Z	Masse atmosph. m	Q	°/₀ par les filtres				Température et humidité			Vis de tem pératu
				rouge	infra rouge	bleu	jaune	t°	mm	°/₀	
	degrés										
22 mars 1924											
17 h. 00	77.1	4.40	0.93	57	»	»	»	»	»	»	»
17.15	80.2	5.70	0.84	61	»	»	»	»	»	»	57
17.30	83.3	8.08	0.66	64	»	»	»	»	»	»	49
17.45	86.5	13.11	0.50	69	»	»	»	»	»	»	»
23 mars 1924											
6 h. 00	89.5	32.33	0.20	»	»	»	»	»	»	»	29
6.15	86.4	13.4	0.38	77	»	»	»	»	»	»	17
6.30	83.2	7.97	0.47	76	»	»	»	»	»	»	17
6.45	80.1	5.65	0.64	65	»	»	»	»	»	»	»
7.30	70.8	3.02	0.83	57	»	»	»	»	»	»	31
8.00	64.7	2.33	0.97	57	»	»	»	»	»	»	»
8.45	55.8	1.77	1.25	53	»	»	»	»	»	»	43
9.15	53.0	1.66	1.29	50	»	»	»	»	»	»	»
9.45	»	»	1.33	»	»	»	»	»	»	»	»
10.00	42.6	1.36	1.33	»	»	»	»	»	»	»	54
10.15	»	»	1.33	50	»	»	»	»	»	»	54
10.30	38.3	1.27	1.34	49	»	»	»	»	»	»	54
10.45	»	»	1.38	49	»	»	»	»	»	»	60
11.00	35.0	1.22	1.39	49	»	»	»	»	»	»	»
11.15	»	»	1.40	50	»	20	39	»	»	»	65
11.30	32.8	1.19	1.40	50	»	21	40	»	»	»	»
11.45	»	»	1.40	49	14	»	»	»	»	»	»
12 00	32.1	1.18	1.41	»	14	»	»	»	»	»	»
13 00	34.8	1.21	1.32	»	»	»	»	»	»	»	»
13.15	»	»	1.30	»	»	»	»	»	»	»	»
13.30	38.3	1.27	1.29	»	»	»	»	»	»	»	»
24 mars 1924											
10 h. 00	42.3	1.35	1 38	»	»	»	»	22.4	7.7	39	54
25 mars 1924											
6 h. 45	79.7	5.45	0.64	76	»	»	»	18.2	11.7	75	35
7.45	67.3	2 58	1.11	51	»	»	»	19.7	12.8	76	»
8.30	58.2	1.89	1.24	51	»	»	»	21.8	13.7	71	55

(*) Je tiens à remercier tout particulièrement mes collaborateurs MM. K. Karnkowsk propriétaire foncier à Pokrzywnica, en Pologne, et A. Duninowski, étudiant à l'Ui versité d'Alger, qui ont bien voulu me prêter à Touggourt leur concours aussi pı cieux que bénévole en y effectuant la plupart des mesures actinométriques ; dans calcul des mesures à Varsovie, j'ai été aidé par MM. Zborowski et Zaleski.

TEMPS LOCAL VRAI	Distance zénithale Z	Masse atmosph. m	Q	°/₀ par les filtres				Température et humidité			Vis de température
	degres			rouge	infra rouge	bleu	jaune	t°	mm	°/₀	
25 mars 1924											
9 h. 30........	47.1	1.47	1.30	»	»	»	»	24.3	12 3	53	73.5
12.30..........	32.1	1.18	1.38	49	»	»	»	27.0	12.0	46	67
12.45..........	»	»	1.38	49	»	»	»	»	»	»	»
13.00..........	34.1	1.20	1.38	49	»	»	»	27.3	11.9	45	»
14.00..........	41.9	1 34	1.32	49	14	»	»	27.8	12.0	35	»
14.15..........	»	»	1.31	50	14	22	40	28.0	12.1	31	»
14.30..........	47.0	1.46	1.29	»	»	»	»	»	»	»	»
14.45..........	»	»	1.28	»	»	»	»	»	»	»	»
15.00..........	52.4	1.64	1.27	»	»	»	»	»	»	»	»
15.15..........	55.2	1.75	1.24	»	»	»	»	28.6	11.9	30	»
15.30..........	58.1	1.89	1.22	»	»	»	»	»	»	»	»
15.45..........	61.1	2 06	1.15	51	15	»	19	»	»	»	»
16.00..........	64.1	2.28	1.13	51	15	»	18	»	»	»	74
16.15..........	67.2	2.57	1.09	52	15	42	18	29.0	11.9	30	»
16.30..........	70.3	2.95	1.04	54	15	43	15	»	»	»	»
17.00..........	76.5	4.22	0.87	56	16	44	13	»	»	»	»
17.15..........	79.6	5.40	0.70	58	18	»	9	28.9	11.5	37	»
17.30.	82.7	7.48	0.55	64	19	»	»	28.3	11.4	39	»
26 mars 1924											
6 h. 30........	82.6	7.39	0.56	63	»	»	»	17.0	7.4	51	26
7.15..........	73.3	3.45	0.91	56	17	»	»	19.0	8.4	51	»
7.30..........	70.2	2.93	0.99	55	»	»	»	»	»	»	36
7.45..........	67.1	2.56	0.96	54	16	17	»	20.7	8.9	49	36
8.30..........	58.0	1.88	1.03	50	(15)	(17)	»	23.6	9.9	46	52
10.00	41.7	1.33	1.26	50	(15)	(17)	»	28.1	11.4	38	»
10.15..........	»	»	1.26	»	15	17	»	28.5	11.3	39	»
10 45..........	»	»	1 30	»	15	17	»	29.1	11.7	39	»
11.15..........	»	»	1.39	49	»	»	»	29.6	12.0	39	70
27 mars 1924											
6 h. 00........	88.6	23.63	0.11	75	28	3	»	17.3	6.7	47	35
6.15..........	85.5	11.40	0.44	69	21	6	»	17.4	6.8	46	29
8.30....	57.7	1.87	1.09	50	15	17	»	21.0	6.8	37	49
10.00..........	41.5	1.33	1.20	49	14	20	»	»	»	»	»
10.15..........	»	»	1.24	»	»	»	»	22.8	6.4	31	43
10.30..........	37.1	1.25	1.34	»	14	19	»	»	»	»	»
10.45..........	»	»	1.35	»	»	»	»	»	»	»	52
11 00..........	33.6	1.20	1.34	48	15	20	»	»	»	»	49
11.15..........	»	»	1.37	49	14	19	»	23.9	6.4	29	»
11.30..........	31.4	1.17	1.37	49	14	18	»	»	»	»	»
11.45..........	»	»	1.40	49	14	19	»	»	»	»	»
12.00..........	30.6	1.16	1.41	49	14	19	»	»	»	»	58
12.15..........	»	»	1.40	49	15	20	»	24.9	6.6	28	»
13.00..........	33.4	1.20	1.41	49	»	19	»	»	»	»	65
13.15..	»	»	1.40	48	15	17	»	25.4	6.5	27	61
14.00..........	41.4	1.33	1.36	50	14	19	»	»	»	»	»
14.15..........	»	»	1.36	48	»	»	»	25.6	6.6	27	66

TEMPS LOCAL VRAI	Distance zénithale Z	Masse atmosph. m	Q	°/₀ par les filtres				Température et humidité			Vis de tem pératur
				rouge	infra rouge	bleu	jaune	t°	mm	°/₀	
	degrés										
27 mars 1924											
14 h. 30........	46.5	1.45	1.28	»	14	21	»	»	»	»	»
15	51.9	1.62	1.23	»	15	20	»	»	»	»	62
15.15..........	54.7	1.73	1.22	»	»	»	»	25.3	6.7	28	»
28 mars 1924											
6 h. 15........	85 3	10.99	0.38	67	19	9	»	18.6	5.6	35	32
6.30..........	82.1	6.96	0.62	60	18	10	»	»	»	»	»
6.45..........	79.0	5.12	0.72	58	18	12	»	»	»	»	»
7.00..........	75.9	4 05	0.89	54	16	15	»	»	»	»	42
7.15..........	72.8	3.36	0.99	54	16	16	»	20.4	6.3	35	»
7 30..........	69.7	2.85	1.07	53	15	17	»	»	»	»	»
7.45..........	66.6	2.51	1.12	48	14	18	»	»	»	»	49
8.15..........	60.6	2.03	1.16	»	15	19	»	21.7	6.4	33	41
8.30..........	57.5	1.85	1.16	»	»	»	»	»	»	»	»
8 45..........	54.6	1.73	1.19	48	14	19	»	22.1	6.3	32	»
17.30..........	82.0	6.88	0.50	66	20	9	»	»	»	»	56
17.45..........	85.2	10.79	0.17	80	25	10	33	24.3	7.4	33	»
18.00..........	88.3	21.57	0.05	80	37	»	23	»	»	»	»
29 mars 1924											
6 h. 15........	85.1	10.59	0.04	71	28	7	»	13.2	5.4	48	»
6.30..........	81.9	6.81	0.20	64	22	9	38	»	»	»	34
6.45..........	78 8	5.03	0.34	60	»	13	39	»	»	»	38
7.00..........	75 7	3.99	0.47	57	18	14	37	»	»	»	»
7.15..........	72.6	3.32	0.63	56	17	16	37	14.8	6.0	47	36
7.30..........	69.5	2 83	0.72	54	16	16	38	»	»	»	37
7.45..........	66.4	2.49	0.81	53	17	17	37	»	»	»	36
8.00..........	63.3	2.22	0.90	52	15	19	36	»	»	»	37
8.15..........	60.3	2.01	0.97	51	15	17	37	16.2	6 0	44	36
8.30..........	57.2	1.84	0.98	51	15	18	38	»	»	»	37
9.30..........	46.0	1.44	1.04	49	15	19	35	19.1	6.7	40	35
17.15..........	78.7	4.99	0.62	56	17	13	»	23.3	5.8	27	46
17.30..........	81.8	6.73	0.39	»	19	10	»	»	»	»	»
17.45..........	85.0	10.39	0.30	67	20	7	»	»	»	»	»
18.00..........	88.1	20.35	0.02	»	»	»	»	21.7	5.4	28	12
30 mars 1924											
6 h. 00........	88.0	19.79	0.29	73	26	3	»	11.3	5.0	50	7
6.15..........	84.9	10.22	0.52	64	20	8	»	11.6	5.1	50	»
6.30..........	81.7	6.66	0.69	60	18	8	»	»	»	»	»
6.45..........	78.6	4.95	0.79	57	17	13	»	»	»	»	16
7.00..........	75.5	3.94	0.92	54	16	14	»	»	»	»	2[illegible]
7.15..........	72.4	3.28	0.98	53	16	16	»	13.6	5.5	47	»
7.30..........	69.3	2.80	1.05	52	16	16	»	»	»	»	»
7.45..........	66.2	2.47	1.13	50	15	17	»	»	»	»	34
8.00..........	63.1	2.20	1.18	50	15	17	»	»	»	»	»
8.15..........	60.1	2.00	1.20	51	15	19	»	16.0	6.0	44	»

TEMPS LOCAL VRAI	Distance zénithale Z degrés	Masse atmosph. m	Q	°/o par les filtres rouge	infra rouge	bleu	jaune	Température et humidité t°	mm	°/o	Vis de température
30 mars 1924											
8 h. 30........	57.0	1.83	1.24	49	14	18	»	»	»	»	»
9.15..........	»	»	1.33	48	14	19	»	17.9	6.3	41	48
9.30..........	45.7	1.43	1.34	48	14	19	11	»	»	»	»
9.45..........	»	»	1.35	»	»	»	»	»	»	»	»
10.00..........	40.6	1.31	1.35	»	»	»	»	19.1	6.4	38	»
11.00..........	32.5	1.19	1.35	48	15	20	»	20.3	6.3	33	42
12.00..........	29.4	1.15	1.38	48	15	21	»	»	»	»	57
12.15..........	»	»	1.36	49	15	18	»	21.7	6.4	33	»
12.30..........	30.1	1.15	1.36	49	14	19	»	»	»	»	55
12.45..........	»	»	1.34	49	14	19	»	»	»	»	»
13.45..........	»	»	1 33	48	14	20	»	23.4	6 4	30	»
14.00..........	40.5	1.31	1.32	48	14	19	»	»	»	»	63
15.00..........	51.1	1.59	1.20	50	15	18	»	24.4	6.6	29	73 5
16.00..........	63.0	2.19	1.07	52	»	»	»	24.4	6.6	29	»
16.30..........	69.2	2.79	0.93	55	16	17	»	»	»	»	74
16.45..........	72.3	3.26	(0.81)	»	»	»	»	»	»	»	»
17.00..........	75.4	3.91	0.71	55	17	14	»	24.0	6.4	29	54
17.30..........	81.6	6.58	0.42	62	20	14	»	»	»	»	»
17.45..........	84.8	10.06	0.24	66	22	»	»	»	»	»	»
18.00..........	87.9	19.25	0.06	79	33	33	»	21.4	6.9	36	»
31 mars 1924											
6 h. 00........	87.8	18.74	0.04	77	»	»	»	11.6	5.8	53	15
6.15..........	84.7	9.89	0.24	67	29	7	»	11.5	5.8	57	6
6.30..........	81.5	6.51	0.44	64	20	9	»	»	»	»	»
6.45..........	78.4	4 87	0.57	58	19	11	»	»	»	»	20
7.00..........	75.3	3.89	0.68	57	17	13	»	»	»	»	21
7.15..........	72.2	3.25	0.78	54	16	17	»	14.7	5.7	42	»
7.30..........	69.1	2.78	0.93	»	»	»	»	»	»	»	32
7.45..........	66.0	2.45	0.96	»	16	17	»	»	»	»	»
8.00..........	62.9	2.18	1.00	52	16	17	»	»	»	»	»
8.15..........	59.9	1.99	1.05	50	»	»	»	15.6	4.9	37	»
8.30..........	56.8	1.82	1.09	50	15	18	»	»	»	»	»
8.45..........	53.9	1.70	1.13	49	15	17	»	»	»	»	»
9.15..........	»	»	1.21	49	15	18	»	17.1	4.8	33	45
9.30..........	45.4	1.43	1.24	49	14	19	»	»	»	»	»
10.00..........	40.3	1.31	1.34	»	»	»	»	»	»	.	58
10.15..........	»	»	1.31	»	15	19	»	21.2	5.4	29	54
10.30..........	35.9	1 23	1.36	48	15	18	»	»	»	»	»
10.45..........	»	»	1.38	48	15	18	»	23.8	6.1	28	»
11.45..........	»	»	1.41	48	15	18	»	26.5	6.3	25	»
12.00..........	29.0	1.14	1.40	49	15	18	»	»	»	»	»
1er avril 1924											
6 h. 00........	87.6	17.78	0.29	75	24	4	»	9.9	6.1	67	12
6.15..........	84.5	9.58	0.53	62	20	7	»	10.0	6.1	67	»
6.30..........	81.3	6.37	0.69	60	19	12	»	»	»	»	»
6.45..........	78.2	4.79	0.79	55	17	14	»	»	»	»	»

TEMPS LOCAL VRAI	Distance zénithale Z	Masse atmosph. m	Q	°/o par les filtres				Température et humidité			Vis de tem-perature
				rouge	infra rouge	bleu	jaune	t°	mm	°/o	
	degrés										
1er avril 1924											
7 h. 00	75.1	3.84	0.89	54	16	15	»	»	«	»	»
7.15..........	72.0	3.21	0.94	52	16	17	»	12.6	6.4	61	»
7.30..........	68.9	2.42	1.03	51	16	17	»	»	»	»	23
7.45..........	65.7	2.42	1.09	50	15	17	»	»	»	»	»
8.00..........	62.6	2.15	1.16	49	15	17	»	»	»	»	39
8.15..........	59.6	1.98	1.19	49	15	19	»	14.8	6.7	53	39
8.45..........	53.7	1.69	1.31	49	15	19	»	»	»	»	59
9.00..........	50.7	1.57	1.28	48	15	19	»	»	»	»	»
9.15..........	»	»	1.33	48	16	20	»	17.0	6.5	45	68
9.30..........	45.2	1.42	1.34	48	15	20	»	»	»	»	»
9.45..........	»	»	1.35	49	14	20	»	17.6	7.0	47	»
10.30..........	35.5	1.22	1.35	48	15	19	»	»	»	»	52
10.45..........	»	»	1.36	47	14	20	»	18.9	7.6	47	48
13.15..........	»	»	1.38	49	14	17	»	21.5	6.8	34	17
13.30..........	35.4	1.22	1.34	49	14	19	»	»	»	»	19
13.45..........	»	»	1.35	47	14	20	»	»	»	»	20
15.30..........	56.5	1.80	1.27	»	15	19	»	23.0	7.1	34	18
17.00..........	75.0	3.82	0.91	54	17	15	»	»	»	»	»
17.15..........	78.1	4.75	0.83	59	18	12	»	22.4	6.8	35	»
17.30..........	81.2	6.31	0.67	62	20	11	»	21.8	6.4	34	»
2 avril 1924											
6 h. 00........	87.4	16.90	0.32	74	23	3	»	9.2	5.6	65	26
6.15..........	»	»	0.53	69	21	7	»	9.2	5.7	65	»
6.30..........	81.1	6.24	0.69	61	19	10	»	»	»	»	24
6.45..........	78.0	4.72	0.79	58	18	11	»	»	»	»	»
7.00..........	74.9	3.80	0.92	54	16	13	»	»	»	»	38
7.15..........	71.8	3.19	0.99	55	16	14	»	11.3	6.1	61	»
7.45..........	65.5	2.10	1.12	52	16	16	»	»	»	»	45
8.00..........	62.4	2.14	1.18	51	15	17	»	»	»	»	»
8.15..........	59.4	1.96	1.21	51	15	18	»	13.7	6.4	55	»
8.30..........	56.4	1.80	1.25	50	15	19	»	»	»	»	»
8.45..........	53.4	1.68	1.30	49	14	19	»	15.5	6.8	52	53
9.00..........	50.5	1.57	1.32	49	14	19	»	»	»	»	»
9.30..........	44.9	1.41	1.36	49	15	19	»	»	»	»	»
9.45..........	»	»	1.37	48	14	19	»	18.4	7.3	46	»
10.00..........	39.7	1.29	1.37	46	15	19	»	»	»	»	»
10.15..........	»	»	1.38	47	14	19	»	19.5	7.4	42	»
10.30..........	35.2	1.22	1.40	48	14	19	»	»	»	»	»
10.45..........	»	»	1.41	48	14	19	»	20.7	7.6	41	»
11.00..........	31.4	1.17	1.40	48	14	19	»	»	»	»	»
11.30..........	29.2	1.14	1.43	48	14	19	»	»	»	»	58
11.45..........	»	»	1.45	48	14	19	»	22.4	7.6	38	»
12.00..........	28.2	1.13	1.43	48	14	19	»	»	»	»	»
12.15..........	»	»	1.43	48	14	20	»	22.9	7.5	36	»
12.30..........	29.0	1.14	1.43	48	14	18	«	»	»	»	61
16.30..........	68.5	2.71	1.04	52	15	15	»	»	»	»	46
16.45..........	71.7	3.16	1.03	52	16	16	»	24.5	7.3	32	56
17.00..........	74.8	3.77	0.95	56	16	14	»	»	»	»	»
17.15..........	77.9	7.68	0.90	58	17	12	»	24.1	7.1	32	»

TEMPS LOCAL VRAI	Distance zénithale Z	Masse atmosph. m	Q	°/ₒ par les filtres				Température et humidité			Vis de température
	degrés			rouge	infra rouge	bleu	jaune	t°	mm	°/ₒ	
2 avril 1924											
17 h. 30	81.0	6.18	0.74	60	18	11	»	»	»	»	»
17.45	84.2	9.16	0.64	83	19	11	»	22.7	7.0	35	»
3 avril 1924											
6 h. 00	87.2	16.10	0.16	78	24	1	»	9.1	6.7	78	28
6.15	84.1	9.03	0 37	68	22	8	»	9.2	6.8	78	23
6.30	80.9	6.11	0.54	60	19	11	»	»	»	»	20
6.45	77.8	4.64	0.63	58	18	12	»	»	»	»	30
7.00	74.6	3.72	0.76	54	17	15	»	»	»	»	»
7.15	71.6	3.13	0.90	53	16	16	»	10.7	6.9	72	»
8.00	62.2	2.13	1.13	52	15	17	»	»	»	»	59
8.15	59.2	1.95	1.14	49	15	18	»	13.8	7.4	63	55
8.30	56.1	1.79	1.16	49	14	18	»	»	»	»	48
8.45	53.2	1.67	1.18	49	15	20	»	»	»	»	»
9.00	50.2	1.56	1.21	48	14	20	»	»	»	»	»
9.15	»	»	1.23	49	14	18	»	17.5	8.2	55	»
9.30	44.6	1.40	1.24	48	15	19	»	»	»	»	»
10.30	34.8	1.21	1.27	48	14	19	»	»	»	»	»
10.45	«	»	1.29	47	13	19	»	19.6	8.3	48	»
11.15	»	»	1.31	47	14	18	»	20.4	8.4	46	»
12.00	27.9	1.13	1.31	48	14	18	»	»	»	»	»
12.15	»	»	1 33	»	14	18	»	23.0	8.5	40	»
12.45	»	»	1.32	48	15	18	»	23 5	8.6	40	»
14.00	39.5	1.29	1.33	48	12	15	»	»	»	»	54
14.15	»	»	1.33	49	16	16	»	23 6	8.5	39	61
14.30	44.6	1.40	1.33	49	14	18	»	»	»	»	»
15.30	56.0	1.78	1.22	50	15	16	»	»	»	»	»
15.45	59.1	1.94	1.19	50	15	16	»	23.3	8.4	40	»
16.15	65.2	2.38	1.09	52	15	15	»	23.1	8.4	40	57
16.30	68.3	2.68	1.04	»	15	16	»	»	»	»	»
16.45	71.4	3.11	0.97	53	16	15	»	»	»	»	»
17.00	74.5	3.70	0.90	56	17	14	»	»	»	»	»
17.15	77.7	4.61	0.79	57	18	12	»	22.0	8.5	43	»
17.30	80.8	6.05	0.66	61	19	10	»	»	»	»	58
17.45	84.0	8.90	0.45	67	21	6	»	»	»	»	51
18.00	87.1	15.72	0.12	84	27	1	»	20.8	8.1	44	45
4 avril 1924											
6 h. 00	87.0	15.36	0.37	80	23	4	»	10.1	5.8	63	22
6.15	83.9	8.77	0.53	64	22	7	»	10.1	5.8	63	»
6.30	80.7	5.99	0.66	60	18	11	»	»	»	»	»
6.45	76.6	4.57	0.80	57	17	12	»	»	»	»	29
7.15	71.3	3.10	0.91	53	16	14	»	13.9	7 3	61	»
7.30	68.2	2.67	0.97	52	16	15	»	»	»	»	»
7.45	65.1	2.37	1.01	51	15	15	»	»	»	»	»
8.00	62.0	2.12	1.05	50	15	16	»	14.8	7.9	63	»
8.30	55.9	1.78	1.12	51	15	17	»	»	»	»	»
8.45	53.0	1.66	1.16	50	15	17	»	16.2	9.1	64	»

TEMPS LOCAL VRAI	Distance zénithale Z	Masse atmosph. m	Q	°/₀ par les filtres rouge	infra rouge	bleu	jaune	Température et humidité t°	mm	°/₀	Vis de température
	degrés										
4 avril 1924											
9 h. 15	»	»	1.19	49	15	18	»	17.3	9.6	65	»
9.30	44.3	1.40	1.21	48	15	18	»	»	»	»	»
9.45	»	»	1.25	49	14	18	»	»	»	»	48
10.00	39.2	1.29	1.27	49	15	18	»	»	»	»	»
10.15	»	»	1.29	48	14	18	»	19.9	9.2	53	»
10.45	»	»	1.32	48	15	19	»	»	»	»	61
11.00	30.7	1.16	1.33	49	15	18	»	»	»	»	»
11.15	»	»	1.34	49	15	19	»	21.4	8.9	48	»
12.00	27.5	1.13	1.34	49	14	19	»	»	»	»	»
12.15	»	»	1.34	49	14	18	»	22.2	8.7	44	»
14.15	»	»	1.26	49	15	18	»	24.4	8.9	39	65
14.30	44.3	1.40	1.24	50	15	19	»	24.6	8.9	39	»
5 avril 1924											
6 h. 00	86.8	14.69	0.33	71	24	3	»	10.7	6.0	61	25
6.15	83.7	8.53	0.50	66	21	8	»	10.9	6.1	62	»
6.30	80.5	5.87	0.72	60	18	11	»	»	»	»	»
7.00	74.2	3.63	0.92	56	17	14	»	»	»	»	41
7.15	71.1	3.07	0.99	52	17	14	»	14.8	7.8	62	»
7.45	64.8	2.34	1.11	52	16	16	»	»	»	»	»
8.00	61.7	2.10	1.15	51	16	17	»	»	»	»	»
8.15	58.7	1.92	1.19	51	16	17	»	17.0	8.1	56	»
8.30	55.7	1.77	1.21	50	15	18	»	»	»	»	»
8.45	52.7	1.65	1.27	50	15	18	»	»	»	»	49
9.00	49.7	1.54	1.29	51	15	18	»	18.7	8.2	52	»
10.45	»	»	1.34	50	14	18	»	25.5	8.9	41	»
11.00	30.4	1.16	1.35	48	14	19	»	»	»	»	»
11.30	28.1	1.13	1.36	49	14	(16)	»	»	»	»	56
11.45	»	«	1.34	49	15	(16)	»	26.0	9.4	37	»
12.00	27.1	1.12	1.35	49	15	»	»	»	»	»	»
12.15	»	»	1.29	49	15	19	»	27.0	9.6	36	»
12.30	27.9	1.13	1.29	49	15	19	»	»	»	»	»
12.45	»	»	1.28	49	15	19	»	»	»	»	»
13.00	30.2	1.16	1.25	50	15	19	»	29.1	9.7	32	»
14.00	38.8	1.28	1.33	50	16	19	»	»	»	»	72
14.15	»	»	1.31	49	15	19	»	30.6	9.8	30	»
14.30	44.0	1.39	1.29	50	15	»	»	»	»	»	76
15.30	55.6	1.77	1.20	50	15	18	»	»	»	»	64
15.45	58.6	1.91	1.13	»	»	»	»	30.3	9.2	29	»
16.15	64.7	2.33	1.06	51	16	16	»	30.3	9.1	28	»
16.30	67.9	2.64	0.96	54	18	»	»	»	»	»	»
17.00	74.1	3.61	0.74	56	18	»	»	29.3	8.7	29	»
8 avril 1924											
5 h. 45	89.4	31.13	0.20	71	26	»	»	10.5	6.9	70	»
6.00	86.2	12.82	0.40	66	20	»	»	»	»	»	»
6.15	83.1	7.87	0.64	63	19	»	»	10.3	7.1	70	»
6.30	79.9	5.55	0.72	58	17	»	»	»	»	»	»

TEMPS LOCAL VRAI	Distance zénithale Z	Masse atmosph. m	Q	°/₀ par les filtres				Température et humidité			Vis de température
	degrés			rouge	infra rouge	bleu	jaune	t°	mm	°/₀	
8 avril 1924											
7 h. 00	73.6	3.51	0.94	54	16	»	»	13.4	7.7	66	36
7.30	67.3	2.58	1.08	51	16	»	»	»	»	»	»
7.45	64.2	2.29	1.12	51	16	»	»	»	»	»	»
8.00	61.1	2.06	1.14	51	14	»	»	»	»	»	»
8.15	58.1	1 89	1.17	50	15	»	»	17.9	9.0	59	»
8 45	52.1	1.62	1.21	49	16	»	»	»	»	»	»
9.00	49.1	1.53	1.22	49	15	»	»	»	»	»	»
9.15	»	»	1.23	49	15	»	»	20.3	9.5	54	»
9.30	43.4	1.37	1.25	49	15	»	»	»	»	»	»
9.45	»	»	1.30	48	15	»	»	»	»	»	»
10.00	38.1	1.27	1.33	48	15	»	»	»	»	»	63
10.15	»	»	1.35	49	15	»	»	23.0	9.4	39	62
11.15	»	»	1.44	49	15	»	»	26.6	6.3	25	62
11.30	28.9	1.12	1.44	49	15	»	»	»	»	»	»
11.45	»	»	1.44	49	15	»	»	»	»	»	70
12.00	25.9	1.11	1.44	49	15	»	»	»	»	»	73
12.15	»	»	1.43	49	15	»	»	28.0	5.9	21	»
12.30	26.7	1.12	1.43	49	15	»	»	»	»	»	»
9 avril 1924											
5 h. 45	89.2	28.91	0.27	72	24	»	»	12.5	5.3	49	29
6.00	86.0	12.44	0.53	66	20	»	»	»	»	»	»
6.15	82.9	7.67	0.69	61	18	»	»	12.4	5 3	49	»
6.30	79.7	5.45	0.83	57	17	»	»	»	»	»	»
6.45	76.6	4.25	0.96	54	17	»	»	»	»	»	39
7.00	73.4	3.47	1.03	52	16	»	»	»	»	»	39
7.15	70.3	2.95	1.09	52	15	»	»	15.8	6.1	46	»
8.00	60.9	2.05	1.15	50	15	»	»	»	»	»	»
8.15	57.9	1.88	1.20	49	14	»	»	17.6	6.5	43	»
8.30	54 9	1.74	1.23	49	15	»	»	»	»	»	50
10.00	37.8	1.26	1.20	48	14	»	»	»	»	»	»
10.15	»	»	1.26	48	14	»	»	19.6	6.9	38	»
13.15	»	»	1.32	49	14	»	»	22.9	6.6	32	38
14.15	»	»	1.29	48	12	»	»	23.2	6.8	32	49
14.30	43.0	1.37	1.26	48	14	»	»	»	»	»	46
15.15	51.8	1 61	1.23	48	15	»	»	23.2	6.6	31	»
15.30	54.8	1.73	1.20	49	14	»	»	»	»	»	»
15.45	57.8	1.88	1.21	50	14	»	»	»	»	»	55
16.00	60 8	2.05	1.19	50	14	»	»	»	»	»	»
16.15	63.9	2.26	1.10	51	15	»	»	24.2	6.8	30	50
16.30	67.0	2.55	1.06	53	15	»	»	»	»	»	»
16.45	70.2	2.93	1.03	53	14	»	»	»	»	»	44
17.00	73.3	3.45	0.94	55	16	»	»	»	»	»	»
17.15	76.5	4.22	0.85	57	16	»	»	24.3	6.8	30	42
17.30	79.6	5.40	0.73	60	18	»	»	»	»	»	40
17.45	82.8	7.57	0.57	63	19	»	»	»	»	»	»
18 00	85.9	12.24	0.39	71	22	»	»	22.9	6.4	31	»

TEMPS LOCAL VRAI	Distance zénithale Z	Masse atmosph. m	Q	°/o par les filtres				Température et humidité			Vis de tem-pératur
				rouge	infra rouge	bleu	jaune	t°	mm	°/o	
	degrés										
10 avril 1924											
5 h. 45	89.0	26.96	0.20	73	25	»	»	11.1	6.0	59	»
6.00	85.8	12.03	0.43	66	23	»	»	»	»	»	»
6.15	82.7	7.48	0.62	61	20	»	»	10.7	6.5	63	»
6.45	76.4	4.19	0.87	55	17	»	»	»	»	»	31
7.00	73.2	3.43	0.93	54	17	»	»	12.0	6.7	61	»
7.15	70.1	2.91	1.06	52	16	»	»	12.7	6.7	59	41
7.45	63.8	2.26	1.13	51	15	»	»	»	»	»	46
8.00	60.7	2.04	1.16	49	15	»	»	14.0	6.6	55	»
8.15	57.7	1.87	1.20	50	15	»	»	»	»	»	»
8.30	54.6	1.73	1.24	50	15	»	»	14.4	6.4	52	57
8.45	51.6	1.61	1.26	49	15	»	»	»	»	»	»
9.00	48.6	1.51	1.28	49	15	»	»	16.3	6.9	50	69
9.15	»	»	1.30	49	15	»	»	»	»	»	»
9.45	»	»	1.30	»	»	»	»	»	»	»	54
10.00	37.5	1.26	1.31	48	15	»	»	19.1	7.3	45	46
10.15	»	»	1.32	47	15	»	»	»	»	»	»
11.15	»	»	1.34	47	15	»	»	»	»	»	»
11.30	26.2	1.11	1.35	48	15	»	»	21.0	6.8	37	»
11.45	»	»	1.34	48	15	»	»	»	»	»	»
12.00	25.2	1.10	1.35	49	13	»	»	»	»	»	53
12.15	»	»	1.36	48	15	»	»	»	»	»	51
12.30	26.0	1.11	1.39	50	15	»	»	23.0	6.9	33	55
14.00	37.4	1.26	1.29	50	15	»	»	24.1	6.2	28	52
14.15	»	»	1.33	49	15	»	»	»	»	»	»
15.00	48.5	1.51	1.27	48	15	»	»	24.8	6.0	26	58
15.15	51.5	1.60	1.25	49	15	»	»	»	»	»	»
16.30	66.8	2.53	1.06	52	16	»	»	25 0	6.1	26	59
16.45	70.0	2.90	1.01	54	16	»	»	»	»	»	»
17.00	73.1	3.41	0.91	56	17	»	»	»	»	»	»
17.15	76.3	4.16	0.82	57	18	»	»	24.7	6.0	26	»
17.45	82.6	7.39	0.56	65	20	»	»	»	»	»	50
18.00	85.7	11.82	0.34	72	22	»	»	23.4	6.6	31	»
18.15	88.9	26.06	0.09	90	32	»	»	»	»	»	»
11 avril 1924											
5 h. 45	88.8	19.79	0.24	73	27	»	»	13.8	6.2	53	31
6.00	85.6	11.61	0 48	68	22	»	»	»	»	»	»
6.15	82.5	7.30	0.65	54	19	»	»	»	»	»	»
6 30	79.3	5.26	0.79	57	18	»	»	13.8	6.6	56	41
6.45	76.2	4.13	0.90	56	16	»	»	»	»	»	»
7.00	73.0	3.39	1.00	54	16	»	»	»	»	»	52.5
7.15	69.9	2.88	1.05	53	15	»	»	»	»	»	»
7.30	66.7	2.52	1.14	52	15	»	»	14.4	6.4	52	63
7.45	63.6	2.24	1.18	51	15	»	»	»	»	»	»
8.00	60.5	2.03	1.22	51	15	»	»	»	»	»	70
8.15	57.5	1.85	1.25	50	15	»	»	16.4	6.9	49	»
8.45	51 4	1 60	1.29	49	15	»	»	»	»	»	63
9.00	48.4	1.51	1.30	49	14	»	»	18.0	7.1	46	»
9.15	»	»	1.32	49	15	»	»	»	»	»	»
9.45	»	»	1.33	49	14	»	»	»	»	»	56

TEMPS LOCAL VRAI	Distance zénithale Z	Masse atmosph. m	Q	°/o par les filtres				Température et humidité			Vis de température
				rouge	infra rouge	bleu	jaune	t°	mm	°/o	
	degrés										
11 avril 1924											
10 h. 00	37.2	1.25	1.33	48	14	»	»	20.0	7.4	43	47
10.15	»	»	1.34	48	14	»	»	»	»	»	51
10.30	32.4	1.18	1.35	48	14	»	»	21.0	7.6	41	»
10.45	»	»	1.38	48	14	»	»	»	»	»	56
11.00	28.4	1.13	1.39	48	14	»	»	»	»	»	59
11.15	»	»	1.40	48	14	»	»	»	»	»	»
11.30	25.8	1.11	1.40	48	14	»	»	22.1	7.5	38	»
11.45	»	»	1.40	48	15	»	»	»	»	»	»
12.00	24.8	1.10	1.40	48	14	»	»	23.1	7.7	37	»
13.00	28.3	1.13	1.41	49	14	»	»	24.6	7.8	34	70
13.15	»	»	1.40	49	14	»	»	»	»	»	»
14.30	42.6	1.36	1.31	49	14	»	»	27.1	7.7	29	54
15.15	51.4	1.60	1.31	49	14	»	»	»	»	»	»
15.30	54.3	1.71	1.22	50	14	»	»	27.0	7.7	29	52
15.45	57.4	1.85	1.21	50	15	»	»	»	»	»	»
16.30	66.6	2.51	1.09	52	16	»	»	27.1	7.8	29	62
16.45	69.8	2.86	1.06	54	15	»	»	»	»	»	»
17.00	72.9	3.38	0.97	54	16	»	»	»	»	»	»
17.15	76.1	4.10	0.87	57	17	»	»	»	»	»	»
17.30	79.2	5.21	0.72	60	17	»	»	26.2	8.3	29	55
17.45	82.1	7.21	0.57	64	20	»	»	»	»	»	»
18 00	85.5	11.40	0.35	71	27	»	»	»	»	»	»
18.15	88.7	24.10	0.06	(85)	(3)	»	»	24.7	8.0	34	48
12 avril 1924											
5 h. 45	88.6	23.63	0 20	74	25	»	»	11.9	5.7	55	30
6.00	85.4	11.19	0.44	65	22	»	»	»	»	»	»
6.15	82.3	7.16	0.53	60	20	»	»	»	»	»	»
6.30	79.1	5.17	0.67	57	18	»	»	12.0	5.9	56	»
6.45	76.0	4.06	0.83	55	17	»	»	»	»	»	46
7.00	72.8	3.35	0.90	53	17	»	»	13.3	6 3	55	»
7.15	69.7	2.83	1.03	52	16	»	»	»	»	»	59
7.45	63.4	2.21	1.13	51	15	»	»	»	»	»	64
8.00	60.3	2.03	1.16	51	16	»	»	16.1	7.1	52	»
8.30	54.2	1.71	1.23	49	15	»	»	17.6	7.5	50	70
8.45	51.2	1.49	1.25	50	15	»	»	»	»	»	»
9.00	48.1	1.50	1.28	49	15	»	»	18.5	7.6	48	»
10.00	37.0	1.25	1.33	49	15	»	»	20.6	8.0	45	»
10.15	»	»	1.34	48	15	»	»	»	»	»	»
10.30	32.1	1.18	1.35	48	13	»	»	21.7	8.3	43	»
11.00	28.1	1.13	1.35	47	15	»	»	21.9	8.2	42	»
12.30	25.3	1.11	1.35	47	15	»	»	24.0	8.6	39	68
13.15	»	»	1.32	48	15	»	»	24.8	8.7	38	68
15.00	48.0	1.49	1.24	49	15	»	»	25.5	8.2	34	»
15.15	51.1	1.59	1.21	»	»	»	»	»	»	»	»
16.15	63.3	2.22	1.05	51	»	»	42	»	»	»	»
16.30	66.4	2.49	1.00	52	15	»	41	25.9	8.7	35	»
16.45	69.6	2.84	0 94	55	16	»	42	»	»	»	72
17.15	75 9	4.05	0.65	59	24	14	»	25.4	8.8	37	»
18.00	85.5	10.96	0.20	»	26	10	»	24.7	8.9	39	»
18.15	88.5	22.91	0.04	78	33	»	»	»	»	»	»

TEMPS LOCAL VRAI	Distance zénithale Z	Masse atmosph. m	Q	°/₀ par les filtres				Température et humidité			Vis de tem-pérature
				rouge	infra rouge	bleu	jaune	t°	mm	°/₀	
	degres										
13 avril 1924											
5 h. 45	88.4	22.22	0.15	74	25	28	»	13.6	8.2	70	29
6 00	85.2	10.79	0 36	67	22	8	15	»	»	»	25
6.15	82.1	6 96	0.52	63	18	11	45	»	»	»	33
6.30	78.9	5.08	0 67	60	19	14	44	13.7	8.6	74	38
6.45	75.8	4.02	0.77	57	15	15	43	»	»	»	»
7.00	72.6	3.32	0.89	51	16	16	42	»	»	»	»
7.15	69.5	2.83	0.97	53	15	17	42	14.8	8.4	67	48
8.00	60.1	2.00	1.13	52	15	18	40	15.7	8.1	61	53
8.15	57.1	1.83	1.18	52	15	19	41	»	»	»	»
8.45	51.0	1.59	1.26	50	15	20	40	»	»	»	60
9.00	47.9	1.49	1.28	49	14	19	39	17.1	8.0	55	58
10.15	»	»	1.33	49	14	21	38	19.5	8.1	48	49
10.45	»	»	1.38	50	15	21	39	20.5	8.3	46	67
11.00	27.7	1.13	1.39	50	14	21	38	»	»	»	»
11.15	»	»	1.39	50	13	21	39	»	»	»	»
11.30	25.0	1.10	1.39	50	12	21	40	22.1	8.4	42	»
11.45	»	»	1.39	50	15	21	»	»	»	»	67
12.00	24.1	1.10	1.39	50	14	21	»	23.0	8.5	41	»
12.15	»	»	1.39	»	»	»	»	»	»	»	»
13.30	31.8	1.18	1.31	50	15	21	»	25.8	8.9	36	»
13.45	»	»	1.26	50	14	20	»	»	»	»	72
14.30	42.2	1.35	1.30	50	15	21	»	26.0	8.3	33	70
15.15	51.0	1.59	1.28	»	»	»	»	»	»	»	69
15.30	54.0	1.70	1.20	51	15	20	»	26.5	8.0	31	»
15.45	57.1	1.83	1.09	51	15	18	»	»	»	»	72
16.15	63 2	2.21	1.07	54	16	17	»	26.9	8.4	32	»
16.45	69.5	2.83	0.75	55	14	16	»	26.9	8.5	32	66
17.00	72 6	3.32	0.74	56	16	»	»	»	»	»	»
17.15	75.8	5.02	0.69	»	20	13	»	»	»	»	58
17.30	78 9	5.08	0.38	61	19	11	»	26.4	8.4	33	53
17.45	82.1	6.96	0.16	»	20	7	»	»	»	»	»
18.00	85.2	10.79	0.11	78	22	3	»	»	»	»	»
14 avril 1924											
5 h. 45	88.2	20.94	0.28	74	25	6	»	15 0	6.7	53	36
6.00	85.0	10.39	0.47	65	17	10	»	»	»	»	27
6.15	81.9	6.81	0.63	60	17	13	»	»	»	»	37
6.30	78.7	4.99	0.76	59	17	13	»	14.9	6.7	50	»
6.45	75.6	3.97	0.87	56	16	15	»	»	»	»	»
7.00	72.4	3.28	0.96	55	16	16	»	»	»	»	»
7.15	69.3	2.80	1.04	54	15	17	»	18.7	7.8	48	»
8.00	59.9	1.99	1.17	»	»	21	»	21.0	8.2	45	64
9.00	47.7	1.48	1.25	50	15	20	»	22.6	8.2	40	»
9.15	»	»	1.26	»	15	21	»	»	»	»	»
9.30	42.0	1.34	1.27	50	15	21	»	23.1	8.0	38	64
9.45	»	»	1.29	50	»	»	»	»	»	»	70
10.00	36.4	1.24	1.30	49	15	21	»	»	»	»	66
16.00	59.9	1.99	1.11	53	15	7	»	»	»	»	71
16.15	63.0	2 19	1.08	55	16	17	»	»	»	»	»

MPS LOCAL VRAI	Distance zénithale Z	Masse atmosph. m	Q	°/₀ par les filtres				Température et humidité			Vis de température
				rouge	infra rouge	bleu	jaune	t°	mm	°/₀	
	degrés										
4 avril 1924											
h. 30........	66.1	2.46	1.00	55	17	13	»	30.8	7 0	24	71
45..........	69.3	2.80	0 94	55	17	»	»	»	»	»	»
15..........	75.6	3.97	0.77	57	17	12	»	»	»	»	»
30..........	78.7	4.99	0.63	61	19	10	»	29 9	6 6	21	64
00..........	85 0	10.39	0.25	73	28	2	»	29.0	6.3	21	62
5 avril 1924											
h. 45........	88.0	19.79	0.16	68	25	7	»	16.7	5.0	35	36
00..........	84.8	10 06	0.36	65	21	9	»	»	»	»	»
15..........	81.7	6.66	0.55	62	15	13	»	»	»	»	»
30..........	78.5	4.91	0.69	58	17	16	»	17.2	5 7	39	»
45..........	75.4	3.91	0.76	57	17	16	»	»	»	»	»
00..........	72.2	3.25	0.89	56	15	16	»	20 0	5.9	34	50
00..........	59.7	1.98	1.11	53	15	19	»	»	»	»	63
15..........	56.7	1.81	1.15	52	15	18	»	»	»	»	»
30..........	53.6	1.69	1.14	52	15	19	»	23.0	6.7	32	»
45..........	50.6	1.57	1.17	51	15	19	»	»	»	»	»

LADISLAS GORCZYŃSKI

Sur le degré du continentalisme de la Tunisie et des oasis sahariennes

INTRODUCTION

Dans un mémoire, paru en 1918 dans les comptes-rendus de la Société des Sciences de Varsovie (XI[e] année, Fasc. 4, pp. 500-547), j'ai indiqué une nouvelle méthode de calculer le degré du continentalisme en fonction de la température. Cette méthode a été spécialement appliquée à la Pologne (Revue géographique polonaise, T. I, pp. 35 , 1918) et les nouvelles cartes des lignes d'égal degré du continentalisme pour l'Europe et le monde entier ont été tracées et publiées dans « Géografiska Annaler » (Stockholm, Fasc. 4, 1920).

D'aprés ces cartes, on voit tout de suite que le Sahara et la Sibérie orientale présentent les régions les plus continentales du monde et que l'Afrique du Nord et tout spécialement la Tunisie donnent des changements les plus rapides du degré du continentalisme entre le littoral et ses confins sahariens. Puisque ce nonveau facteur joue un rôle essentiel pour la délimitation des régions naturelles et est capable, concurrencer avec la pluie, de déterminer même la valeur d'une région au point de vue agricole et de la production en général, il nous a paru utile de calculer spécialement le degré de continentalisme de la Tunisie et des oasis sahariennes.

I. — Formule pour calculer le degré du continentalisme

Pour préciser ce que nous entendons par le « continentalisme » au point de vue météorologique, nous nous bornons tout d'abord à étudier le degré thermique du continentalisme. En se basant sur les valeurs de la variation annuelle des températures moyennes mensuelles, on calcule le « degré thermique du continentalisme » (K) d'une localité dont l'amplitude (A) et la latitude géographique (φ) sont connues, d'aprés la formule :

$$K = 1{,}7 . \frac{A - 12 \text{ Sin } \varphi}{\text{Sin } \varphi} = \frac{1{,}7}{\text{Sin } \varphi} . A - 20{,}4 \qquad (1)$$

Dans la formule (1) qui donne des valeurs K en $^o/_o$, le terme 12 Sin φ représente les amplitudes de la variation annuelle des températures moyennes pour les océans en fonction de φ. La formule ne peut pas cependant être appliquée sans changement aux latitudes trop voisines de l'équateur.

Les valeurs de A, observées réellement sur les océans entre $\varphi = 30°$ Sud et 60° Sud c'est-à-dire dans les zones presque exclusivement maritimes, ne diffèrent pas beaucoup de celles qu'on obtient à l'aide de la formule :

$$A \text{ (océans)} = 12 \text{ Sin } \varphi \qquad (2)$$

En soustrayant 12 Sin φ des valeurs A obtenues pour les continents et en divisant la différence ainsi obtenue par Sin φ, comme demandent les considérations théoriques, on obtient le degré thermique K du continentalisme au moyen de la formule :

$$K = C \frac{A - 12 \text{ Sin } \varphi}{\text{Sin } \varphi} \qquad (3)$$

On trouve facilement la valeur numérique du coefficient C, en demandant que K soit 100 $^o/_o$ pour une station avec la plus grande variation annuelle des températures moyennes mensuelles. Par exemple pour Werchojansk en Sibérie Orientale ($\varphi = 67°, 55$ N, altitude 100 mètres, on a $A = 65°9$ (Janvier — 50° 5 C, Juillet + 15° 4 C, moyenne de 21 ans), d'où il résulte :

$$c = \frac{K \text{ Sin } \varphi}{A - 12 \text{ Sin } \varphi} = 1.686 \qquad (4)$$

En nous bornant à la première décimale, nous trouvons $c = 1,7$, d'où l'on obtient immédiatement la formule (1).

Nous verrons plus loin que les degrés de continentalisme des oasis sahariennes se rapprochent très près de 100 $^o/_o$.

II. — Distribution géographique du degré du continentalisme en trois groupes principaux

Pour construire les cartes avec des lignes d'égal degré du continentalisme, nous avons divisé les continents en trois groupes principaux :

1° maritime de transition avec K de O à 33 $^o/_o$;

2° continental avec K de 34 à 66 $^o/_o$;

3° continental extrême avec K de 67 à 100 $^o/_o$.

On ajoute encore sur les cartes des subdivisions secondaires et surtout de 20, 50 et 80 %.

On verra plus loin que la Tunisie présente les degrés du continentalisme moins de 20 % (Bizerte 19 %) et plus grands que 50 % (à Kébili par exemple). Il est même probable que les confins sahariens de la Tunisie donnent à son extrême limite méridionale des valeurs de *K* dépassant 67 %; il s'ensuit alors que la Tunisie présente dans son territoire les trois groupes principaux du continentalisme que l'on puisse trouver dans le monde entier, à savoir : maritime, continental et extrême.

En comparant la distribution géographique du degré du continentalisme pour le monde entier avec la carte de la variation annuelle de la température de l'air, on voit tout de suite la grande utilité de la première méthode pour l'étude d'ensemble des climats du monde.

D'après la variation annuelle de la température de l'air (calculée d'après la différence des températures moyennes pour les mois extrêmes) toute la partie occidentale de l'Europe et de la Pologne en particulier appartient au même groupe (10° à 25° *C*) que le Sahara. Cette incohérence au point de vue de la climatologie disparaît totalement sur la carte du degré du continentalisme, où le Sahara appartient au groupe continental et surtout extrême dans l'intérieur du désert, tandis que le climat de la partie occidentale de l'Europe et le climat de la Pologne en particulier correspondent bien au groupe maritime de transition.

III. — Répartition du degré du continentalisme en Tunisie et dans les oasis sahariennes

C'est grâce aux travaux importants de M. G. Ginestous, que la science générale possède les premiers documents et études sur la marche des principaux facteurs de la climatologie tunisienne. Dans ses récentes « Conférences de Météorologie », publiées dans le bulletin de la Direction générale de l'Agriculture, du Commerce et de la Colonisation (Tunis, 4e trimestre 1922) nous avons trouvé toutes les données nécessaires pour calculer le degré du continentalisme pour différentes stations en Tunisie. Dans le tableau I nous avons ajouté les données pour quelques oasis sahariennes tirées d'un très intéressant « Aperçu Météorologique » que M. Lasserre a publié dans un recueil « Les territoires du Sud de l'Algérie » (Alger, 1922).

TABLEAU I. — **Valeur du degré du continentalisme en Tunisie et dans les oasis sahariennes**

	Latitude géographiq.	Amplitude de temp.	Degrés en °/o du continent.	Période d'observat.
***A)* Littoral Tunisien**				
Bizerte	37.3	14°3	19	Période décennale 1911-1920
Tabarka	37.0	15 0	22	
Tunis	36 8	16 4	26	
Sousse	35.8	15 3	24	
Sfax	34.7	15 1	24	
Djerba	33.9	15 1	25	
Gabès	33.9	16 9	31	
***B)* Nord et Centre**				
Aïn-Draham	36.8	18 5	32	
Souk-el-Arba	36.5	19 2	34	
Le Kef	36.2	19 9	36	
Thala	35.6	20 3	38	
Mactar	35.9	20 4	38	
Kairouan	35 7	18 5	33	
***C)* Sud Tunisien partie Orientale**				
Médenine	33.3	17 9	35	
Ben-Gardane	33.1	17 9	36	
Tatahouine	32 9	19 4	40	

Tableau I. — **Valeur du degré du continentalisme en Tunisie et dans les oasis sahariennes** (*suite*)

	Latitude géographiq.	Amplitude de temp.	Degrés en °/₀ du continent.	Période d'observat.
Partie Occidentale				
Métlaoui	34.3	21°5	44	Période décennale 1911-1920
Tozeur	33.9	21 6	45	
Gafsa	34.4	22 2	47	
Kébili	33.7	23 2	50	
***D)* Oasis sahariennes** (1)				
Gériville	33.7	24 2	53	1910
Biskra	34.9	23 9	50	1916-1920
Touggourt	33.1	25 6	59	1916-1920
In-Salah	27.1	26 4	77	1910
Beni-Abbés	30.0	29 5	79	1916
Timimoune	29.3	28 4	77	1916
Adrar	27.5	29 9	89	1916

Il résulte du tableau I que tout le littoral tunisien appartient au groupe maritime avec les degrés du continentalisme inférieur à 33 °/₀. Il y a pourtant une différence assez notable entre les ports méditerranéens ouverts comme par exemple Bizerte, Sousse, Sfax et les stations du littoral situées dans les golfes (comme Tunis et Gabès). D'autre part la partie du littoral voisin de la Tripolitaine est tellement proche du désert que son degré de continentalisme est considérablement augmenté.

La partie centrale et montagneuse de la Tunisie appartient déjà au groupe continental avec les degrés du continentalisme assez uniformes. C'est dans le Sud tunisien que les degrés s'approchent de 50 °/₀, en dépassant même cette valeur à partir de Kébili.

(1) Les données des amplitudes (différence des températures moyennes mensuelles) entre juillet et janvier et du degré de continentalisme pour les oasis sahariennes ne sont pas exactement comparables à cause des différentes périodes d'observations.

Sur le degré pluvio-thermique du continentalisme. — Nous avons parlé jusqu'ici du degré du continentalisme thermique, en nous basant sur les variations annuelles des températures moyennes mensuelles. Il est cependant plus naturel de prendre en considération non seulement la température, mais aussi les conditions pluviométriques qui jouent un rôle tellement important partout et même prépondérant dans le Nord Africain comme par exemple en Tunisie.

Suivant la proposition de M. Rychlinski (1), on peut calculer le degré pluvio-thermique P d'après la forme :

$$P = K . l/L \qquad (5)$$

où K représente le degré thermique défini par la formule :

$$K = 1,7 \frac{A - 12 \text{ Sin } \varphi}{\text{Sin } \varphi} \qquad (1 \text{ bis})$$

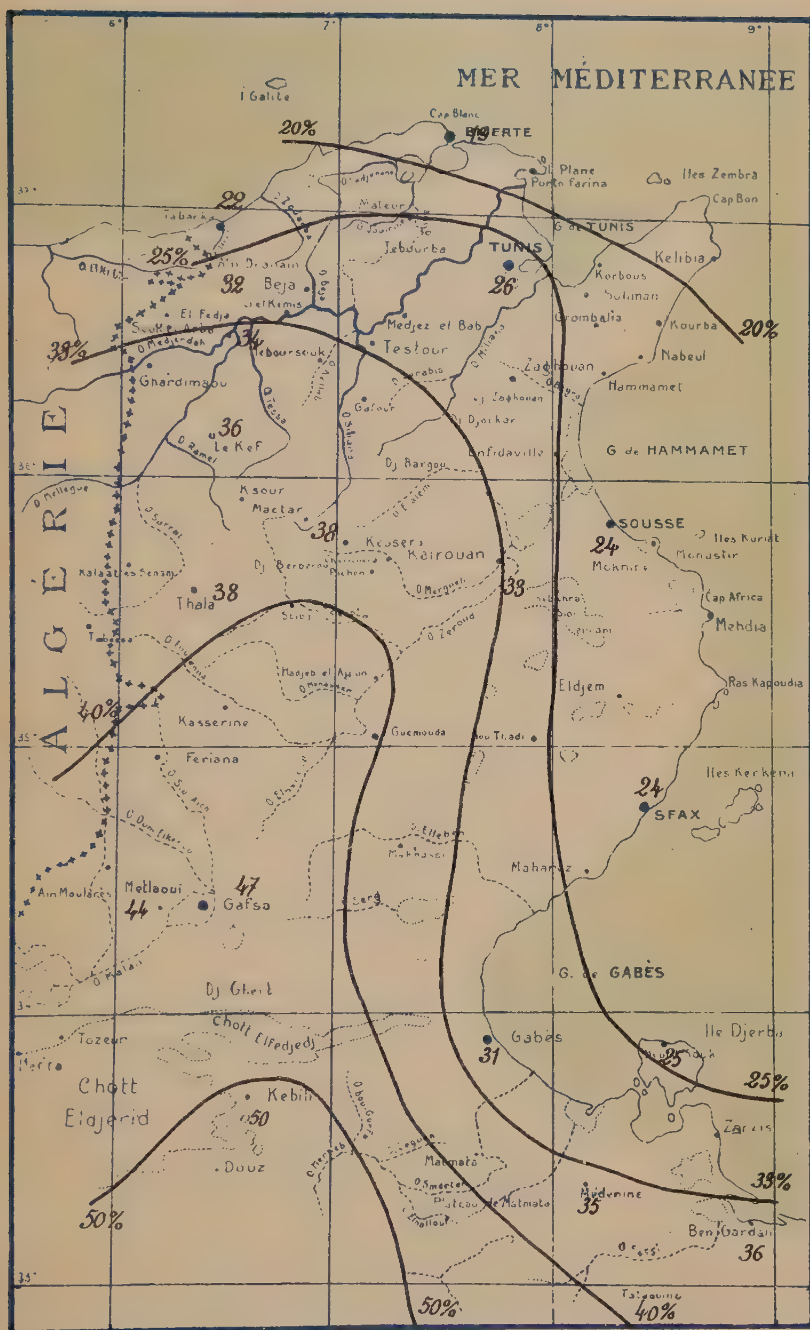
dont nous avons parlé plus haut. D'autre part L signifie la somme annuelle des pluies et l la variation de ces sommes pendant une période suffisamment longue.

Un examen rapide des données pluviométriques que le Service Météorologique de la Tunisie a pu réunir pendant la période de 1911 à 1920 et qui furent étudiées par M. Ginestous, nous montre que le rapport l/L oscille entre une valeur voisine de 0,4 à Bizerte jusqu'à 1,5 et davantage à Kébili et quelques autres stations dans le Sud tunisien. Ces nombres ont été obtenus en prenant pour l les différences entre les sommes annuelles des pluies les plus élevées et les plus basses pendant la période de 1911 à 1920 ; les valeurs de L représentent alors les sommes moyennes des pluies annuelles observées pendant la même période.

En combinant les rapports de l/L avec les valeurs de K précédemment établis, on obtient la distribution du degré du continentalisme pluviométrique qui représente les écarts encore plus grands entre le littoral et les confins sahariens de la Tunisie que dans le cas du continentalisme thermique. Cela nous permet d'étudier avec plus de détails et d'intérêt non seulement le continentalisme des différentes parties de la Tunisie, mais aussi son rapport avec la production agricole et l'activité économique de ce pays.

Ariana, en mars 1925.

(1) Voir son article sur la variabilité des précipitations sous l'influence des continents (Annales du Service botanique de Tunisie, 1925, fasc. 1, pp. 81-87, Tunis, 1925).



IMP BEAU & ESUANE TUNIS

dressée par G. GINESTOUS

Lignes d'égal degré de continentalisme en Tunisie

Periode 1911-1920

JEAN PAUL RYCHLIŃSKI

Sur la variabilité des précipitations sous l'influence des continents et son application à la Tunisie

L'analyse du climat continental et des déserts, donnée par Koeppen et plus particulièrement celui du climat de l'Australie, permet d'établir les éléments fondamentaux d'un climat continental extrême.

Les voici : *a*) grande insolation ; *b*) grandes anomalies des températures ; *c*) grandes variations des précipitations ; *d*) faibles précipitations.

Ce sont surtout les faibles précipitations et leurs grandes variabilités qui rendent si difficile la vie organique et qui favorisent le développement des déserts.

Ces considérations permettent de développer la formule de Gorczynski pour le continentalisme « thermique », en lui donnant la forme :

$$P = c \frac{A}{\operatorname{Sin} \varphi} \cdot \frac{l}{L}$$

où c représente une constante ;

$A = A_\varphi - 12 \operatorname{Sin} \varphi$ anomalie de la température d'une station avec latitude géographique φ.

A_φ amplitude de la variation annuelle des températures moyennes mensuelles ;

l variations des précipitations pour une longue période ;

L hauteurs moyennes des précipitations.

Le tableau I donne les degrés du continentalisme « pluviothermique » pour l'Europe en admettant $c = 4$. Les amplitudes de variation annuelle des températures ont été prises d'après les données Gorczynski et de Hann.

Tableau I. — Degrés du continentalisme de l'Europe

TERRITOIRES	NOMBRE des stations	DEGRÉS du continental.
Europe	48	8,4 %
Europe (période des observations 1851-1900)	37	7,9
Europe du Nord (lat. géogr. au-dessus de 60°)	4	10,2
Europe du Nord (lat. géogr. 60° à 55°)	9	4,0
Russie d'Europe (lat. géogr. 60° à 55°)	3	15,9
Europe Centrale (lat. géogr. 55° à 50°)	12	6,2
Europe Centrale (lat. géogr. 50° à 45°)	10	7,9
Eur. Méridion. (lat. géogr. au-dessous de 45°)	7	9,8
Russie Or[tale] et Caucase (Lugan, Tiflis, Bacou)	3	18,2

La distribution géographique du degré du continentalisme pluviothermique en Europe Centrale a été établie pour 40 stations. Les valeurs se rapportent aux périodes de 50 ans pour 34 stations (de 1851 à 1910) et pour 6 stations approximativement de 1861 à 1910.

Les lignes d'égal degré du continentalisme pluviothermique de l'Europe Centrale ressemblent un peu aux lignes d'égale variabilité des précipitations et un peu aussi aux lignes d'égal degré du continentalisme thermique.

Les degrés du continentalisme pluviothermique de l'Europe Centrale oscillent entre 0 % et 10 %, en augmentant vers l'Est, le Nord et le Sud de l'Europe. Le degré du continentalisme pour Ecaterinenbourg atteint 22,4 %, pour Bacou (Caucase) 21,0 %, pour Lugan 19,8 %. On voit pour les stations continentales de la Lombardie et de l'Espagne une grande augmentation de degré du continentalisme (pour Modena 16,0 % pour Madrid 15,5 %).

Les amplitudes de la variation annuelle des températures moyennes mensuelles pour le monde entier ont été calculées et publiées plusieurs fois. Il n'en est pas de même pour la variabilité des précipitations, qui est soumise à l'influence de trois facteurs principaux : *a*) latitude géographique ; *b*) voisinage des montagnes ; *c*) situation dans des continents.

Les écarts moyens annuels des moyennes annuelles des précipita-

tions ont été étudiés pour l'Europe par Angot, Eredia, Hellmann, Gorczynski, etc.

Le climat de l'Europe appartient pour la plupart au groupe maritime de transition. Les écarts moyens des précipitations en Europe centrale oscillent entre 10 et 20 %, des moyennes annuelles en augmentant vers l'Est, le Nord et le Sud.

Les écarts des précipitations % de la moyenne sont grands en Lombardie et pour quelques stations situées au bord de la Méditerranée, où ils oscillent entre 15 et 20 % en arrivant jusqu'à 30 %. On voit l'augmentation des écarts moyens annuels des précipitations vers le Nord de la Scandinavie.

L'accroisement des écarts est bien évident dans les exemples suivants :

NORVÈGE. — (Période des observations 1876-1915) :

Latitude géographique	*58°*		*60°*		*63°*		*70°*
Nombre des stations		6		8		6	
Ecart moyen des précipitations		13,1 %		15,6 %		15,8 %	

SUÈDE. — (Période des observations 1861-1910) :

Latitude géographique	*55°*		*58°*		*59°*		*60°*		*67°*
Nombre des stations		9		5		5		8	
Ecart moyen des précipitations		13,5 %		14,9 %		16,6 %		16,5 %	

Ces chiffres pour la Suède et pour la Norvège ne sont pas directement comparables parce qu'ils n'embrassent pas la même période. Les écarts pour la Suède sont calculés approximativement, tandis que les données pour la Norvège sont calculées avec grand soin, par J. B. Birkeland.

On peut constater en s'appuyant sur les données concernant un petit nombre des stations de la Russie que les écarts des précipitations y augmentent vers l'Est.

Le climat de l'Australie est caractérisé principalement par les anticyclones qui se déplacent avec une « régularité remarquable » de l'ouest à l'est du continent. C'est bien la cause d'une répartition tout à fait différente des précipitations et de leurs variabilités sur ce continent. D'après Fritzsche 55,2 % de la surface de l'Australie appartient au bassin fermé. Ces considérations donnent un grand intérêt aux études des précipitations en Autralie.

On peut étudier la variabilité des précipitations pour l'Australie, en s'appuyant sur les dates publiées dans les mémoires de H. A. Hunt.

Pour le calcul de la variabilité des précipitations, on a utilisé des hauteurs annuelles des précipitations données dans ces mémoires. Les résultats obtenus figurent dans les tableaux.

Le tableau II donne les hauteurs moyennes des précipitations en millimètres d'après la formule :

$$L = \frac{a_1 + a_2 + \ldots\ldots a_i + \ldots\ a_n}{n}$$

(a_1 ; a_2 ; a_3 ; ..... a_i ..... a_n — sommes annuelles des précipitations, n nombre des années)

Les chiffres calculés et publiés par l'auteur dans « Sur la théorie du continentalisme pluviothermique » ont été vérifiés de nouveau (1).

Tableau II. — **Hauteurs moyennes des précipitations en Australie**

ÉTATS	LIEUX D'OBSERVATIONS	ANNÉES DES OBSERVATIONS de	à	nombre	Hauteurs moyennes des precipit. en mm.
Queensland.........	Normarton (lat. 18° ; long. 141°)	1872	1913	42	978,2
—	Carandotta (lat. 22° ; long. 138°)	1883	1913	31	255,3
—	Aramac (lat. 23° ; long. 145°)	1880	1913	34	471,9
—	Gladstone (lat. 24° ; long. 151°)	1872	1913	42	1057,7
—	Thargouindah (lat. 25° ; long. 144°)	1880	1912	33	296,4
New South Wales..	Bourke (lat. 30° ; long. 146°)	1872	1908	37	384,6
— ..	Albury (lat. 36° ; long. 147°)	1871	1908	38	702,6
West Australia... .	Perth (lat. 32° ; long. 116°)	1876	1913	38	844,6
Iles de Solomon....	Tulagi (lat. S 9° ; long. E 160°)	1898	1912	15	3010,9
Ile de Norfolk......	Norfolk (lat. S 29° ; long. E 168°)	1891	1911	21	1398,5

Le tableau III donne des écarts moyens annuels des moyennes annuelles des précipitations pour 10 stations de l'Océanie d'après la formule :

$$l = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} (a_i - L)$$

(1) Jean Paul Rychlinski. — « Sur la théorie du continentalisme pluviothermique ». Bulletin Météorologique de l'Institut Météorologique d'Etat à Varsovie, N° 12, 1923. Varsovie, 1924.

et les variations d'une année à l'autre d'après la formule :

$$l' = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{i=n} (a_{i+1} - a_i)$$

Les écarts et les variations sont calculés en millimètres et en °/₀ des hauteurs moyennes des précipitations.

Tableau III. — Variabilité des précipitations en Australie

ÉTATS	STATIONS	Ecarts moyens annuels des moyennes annuelles des précipitations (l)		Variations des précipitations d'une année à l'autre (l')		$l' - l$
		mm	en °/₀ moyen.	mm	en °/₀ moyen.	
Queensland	Normarton.	211	21,6 °/₀	277	28,3 °/₀	6,7 °/₀
—	Carandotta.	90	35,1	125	49,1	14,0
—	Aramac.	186	39,5	219	46,4	6,9
—	Gladstone.	261	24,6	347	32,8	8,2
—	Thargomindah.	103	34,6	144	48,4	13,8
New South Wales	Bourke.	134	34,8	166	43,1	8,3
—	Albury.	109	15,5	133	19,7	4,2
West Australia	Perth.	118	14,0	177	20,9	6,9
Iles de Solomon	Tulagi.	530	17,6	609	20,2	2,6
Ile de Norfolk	Norfolk.	268	19,1	300	21,5	2,4

On y voit très bien l'accroissement de la variabilité des précipitations (en °/₀ des hauteurs moyennes) au fur et à mesure que l'on s'approche du désert. Il n'existe pas une différence notable entre les valeurs des écarts pour les îles de l'Océanie et pour quelques stations de l'Europe méridionale.

D'autre part la variabilité des précipitations pour les stations continentales de l'Australie oscille près de 50 °/₀ des moyennes. Par exemple pour Birdsville (lat. 26°, long 139°), période des observations : 1898-1912

$$L = 55{,}5\ °/_0\ ;\ l' = 69{,}1\ °/_0$$

On peut trouver la plus grande variabilité dans le centre aride de ce continent où les sommes annuelles des précipitations oscillent près de 150 millimètres et ont une grande variabilité d'un an à l'autre.

On peut constater aussi la grande variabilité des précipitations dans les territoires arides de l'Amérique du Sud et surtout sur le versant Ouest des Cordillères. Voici quelques exemples pour la variabilité des précipitations en Amérique du Sud.

AMÉRIQUE DU SUD STATIONS	Périodes d'observations	Ecarts moyens annuels (l)	Variations d'un an à l'autre
Punta Arenas (Chili, 53° S ; 71°)	30	18,9 °/₀	23,2 °/₀
Santiago (Chili, 33° S ; 71°)	50	43,1	53,8
La Serra (Chili, 30° S ; 71°)	41	47,8	61,4
Tusuman (Argentine, 27° S ; 65°)	27	16,0	22,0
Curityba (Brésil, 25° S ; 40°)	30	13,6	21,0

L'influence des Cordillères sur la variabilité des précipitations est bien évidente.

Valeurs des degrés pluviothermiques en Tunisie. — En prenant comme base les données pluviométriques qui se trouvent dans les publications de M. Ginestous et dans les archives du Service Météorologique Tunisien, on a calculé les variations des sommes annuelles des précipitations pour quelques stations tunisiennes. Pour simplifier les calculs, on a pris tout d'abord les différences des sommes annuelles les plus élevées et les plus basses pendant la période de dix ans de 1911 à 1920. Ces différences (l), divisées par les sommes moyennes (L) des dix ans en question, nous donnent les rapports l/L et permettent alors de calculer le degré du continentalisme pluviothermique (P) au moyen de la formule :

$$p = K \frac{l}{L}$$

ou K représente le degré du continentalisme thermique tel qu'il est connu d'après les travaux de Gorcynski.

Dans le tableau IV on trouve les valeurs de l/L de K et de P pour quelques stations tunisiennes. Vu la courte période de dix ans les rapports de l/L ont été arrondis à un dixième près.

Tableau IV. — **Degrés du continentalisme pluviothermique en Tunisie**

	VARIATIONS des pluies l/L	DEGRÉS DU CONTINENTALISME	
		K (thermiques)	P (pluviothermiques)
Bizerte	0.4	19	8
Tabarka	0.6	22	13
Tunis	0.8	28	21
Sousse	0.9	24	22
Sfax	1.0	24	24
Djerba	1.0	25	23
Gabès	0.8	31	25
Aïn-Draham	0.6	32	19
Souk-el-Arba	0.6	34	20
Le Kef	0.8	36	25
Thala	1.1	38	41
Maktar	0 8	38	30
Kairouan	0.8	33	26
Médenine	1.5	35	53
Ben-Gardane	0.6	36	22
Tatahouine	0.9	40	36
Metlaoui	1.2	44	52
Tozeur	1.1	45	50
Gafsa	1.7	47	80
Kébili	1.6	50	80

Il résulte du tableau IV que la répartition géographique des degrés du continentalisme pluviothermique en Tunisie présente des écarts plus grands que la distribution analogue pour le continentalisme thermique. Cette question, dont nous nous bornons de mentionner ici l'intérêt scientifique et agricole, mériterait d'être étudiée avec plus de détails.

Varsovie, en février 1925.

SERVICE BOTANIQUE

de la Direction générale de l'Agriculture, du Commerce et de la Colonisation
à El Ariana, près Tunis

PERSONNEL

Chef du Service..........	MM. F. BŒUF.
Assistant.................	L. GUILLOCHON, *horticulture*.
—	A. GÉRY, *grande culture*.
—	A. PETIT, *organogénie, cryptogamie*.
—	V. AMIABLE, *milieu physique*.
—	H. ERHART, *milieu chimique*.
—	J. LENOBLE, *génétique*.
Chef de culture..........	E. CHEVILLON.
Econome-comptable.....	M[lle] A. GUELFI.
Secrétaire. Bibliothécaire	E. FAUCHIER.

COLLABORATEURS

MM. L. GORCZYNSKI, *Directeur de l'Institut météorologique de Varsovie.*

MILANKOVITCH, *Professeur à la Faculté des Sciences de Belgrade.*

